

7930-2024

# Klasseromsmodellsystem for akvaponi i utdanningen



# Rapport

## Norsk institutt for vannforskning

Løpenummer: 7930-2024

Oversettelse av rapport nr. 7929-2024

ISBN 978-82-577-7666-4  
NIVA-rapport  
ISSN 1894-7948

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Gabrielle Hairabedian  
Hovedforfatter

Trine Dale  
Kvalitetssikrer

Sondre Meland  
Forskningsleder

© Norsk institutt for vannforskning.  
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

[www.niva.no](http://www.niva.no)

<b>Tittel norsk/engelsk</b>	<b>Sider</b>	<b>Dato</b>
Klasseromsmodellsystem for akvaponi i utdanningen 70 + vedlegg Classroom Model System for Aquaponics in Education		08.03.2024
<b>Forfatter(e)</b>	<b>Fagområde</b>	<b>Distribusjon</b>
Gabrielle Hairabedian (NIVA), Line Johanne Barkved (NIVA), Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA), Anne Luise Ribeiro (NIVA), Sondre Meland (NIVA), Eléonore Maitre-Ekern (NIVA), Håkon Øyen (Natur vgs.), Theodor Tinius Tronerud (Natur vgs.), Ann Iren Hovde (Natur vgs.), Jonathan Grevstad Lindholt (Natur vgs.), Line Gjeilo Sørensen (Natur vgs.), Marte Pettersen (Natur vgs.), Iselin Antonsen (Natur vgs.)	Akvakultur	Åpen
<b>Oppdragsgiver(e)</b>		
Finansiert av EEA/Norway programmet 2014-2021 via NCBR NOR/IdeaLab/USAGE/0004/2020		

**Utgitt av NIVA**  
210194

### Sammendrag

Denne rapporten presenterer et klasseromsmodellsystem (KMS) eller undervisningsverktøy som kan brukes av lærere for å sikre kollektiv læring gjennom formidling av moduler knyttet til akvaponi. Det kan tilpasses og tilrettelegges ut fra behov og bruker akvaponi som læringsarena for å utforske aktuelle globale utfordringer. Det knytter seg spesifikt til en småskala urban pilotinstallasjon som er utviklet i prosjektet USAGE ved Natur videregående skole (Natur vgs.) i Oslo. Kunnskapsløftet 2020 har gitt et generelt utgangspunkt for dette arbeidet sammen med spesifikke fag og læreplaner for Natur vgs. Læreplanene som ble valgt: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk, Landbruk og gartnernæring, Kjemi og Biologi. Seks tematiske undervisnings- og læringsmoduler gir bakgrunnsinformasjon, eksempler på aktiviteter og diskusjonsemner knyttet til akvaponi. De modulene er: Bærekraft; Plantevekst, -helse og -utvikling; Dyrevelferd; Vannkjemi og -kvalitet; Urban dyrking; og Økonomi- og forretningsdrift. Akvaponi gir mulighet for læring på tvers av mange fag og kan spesielt berike undervisningen i STEM-fagene. Denne KMS-en har som mål å gi standardmetoder for å bruke akvaponi i undervisningen eller som læringsarena i klasserommene på videregående skoler i Norge.

**Emneord:** akvaponi, utdanningsressurser, bærekraft, plantevekst, plantehelse, dyrevelferd, vannkjemi, vannkvalitet, urban dyrking, økonomi, forretningsdrift

**Keywords:** aquaponics, educational resources, sustainability, plant growth, plant health, animal welfare, water chemistry, water quality, energy, urban farming, economy, business operations

# Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	9
1.1 Hvordan bruke KMS og dette dokumentet	9
1.2 Hva er akvaponi?	11
1.3 Akvaponi i undervisningen	11
2 Metode	13
3 Innlemming i læreplanverket	14
4 Introduksjon til akvaponi	15
4.1 Bygging/installasjon av et akvaponisystem	15
4.2 Grunnleggende om akvaponi	15
4.3 Feilsøking og vedlikehold for rutinemessig stell av akvaponisystemer	20
5 Klasseromsmodellsystem (KMS) for undervisning og læring ved bruk av et akvaponisystem	22
5.1 Bærekraft	23
5.2 Plantevekst, -helse og -utvikling	28
5.3 Dyrevelferd	37
5.4 Vannkjemi og -kvalitet	45
5.5 Urban dyrking	52
5.6 Økonomi- og forretningsdrift	57
6 Ressurser	64
6.1 Læreplanverket for Kunnskapsløftet	64
6.2 Læreplaner og inspirasjon	64
6.3 Podcasts	64
6.4 Videoer	64
6.5 Ordliste	65
7 Referanser	67
8 Vedlegg	71

# Forord

Dette dokumentet / rapporten representerer leveranse 5.4 eller «Report on SUPI used as a classroom model system for teaching and learning» innenfor USAGE-prosjektet (Urban Stormwater Aquaponics Garden Environment). Det finnes både på engelsk og norsk, og den norske oversettelsen er utført av Totaltekst. Den eneste forskjellen mellom den engelske og norske versjonen er faktaarkene i vedlegget. Forskningen som ledet til dette prosjektet ble generert med økonomisk støtte fra EØS og Sparebankstiftelsen.

Denne leveransen presenterer et klasseromsmodellsystem (KMS) for undervisning og læring. KMS-en er bygget opp rundt en småskala urban pilotinstallasjon for akvaponi (Small-Scale Urban Pilot Installation eller SUPI på engelsk) som ble utviklet i USAGE-prosjektet i samarbeid med Natur videregående skole (Natur vgs.) i Oslo. De spesifiserte fagene i dette dokumentet tar sikte på å gjenspeile læreplanen på Natur vgs. og [Kunnskapsløftet 2020](#), og ble valgt i fellesskap av lærere ved Natur vgs. og forskere ved NIVA.

Takk til alle kolleger på NIVA som har bidratt i dette arbeidet, samt til design, bygging og utvikling av akvaponisystemet ved skolen. Spesiell takk til lærerne ved Natur vgs. for å bidra i dette arbeidet og gå utenfor sine respektive komfortsoner til nye læringsarenaer for å møte kravene til en stadig skiftende verden for fremtidige generasjoner.

Oslo, 7. mars 2024

## Sammendrag

Dette dokumentet / denne rapporten presenterer et klasseromssystem (KMS) eller undervisningsverktøy som kan brukes av lærere for å sikre kollektiv læring gjennom et utvalg av moduler knyttet til akvaponi. Akvaponi brukes som læringsarena for å utforske aktuelle globale utfordringer, og KMS kan tilpasses og tilrettelegges ut fra behov. KMS knytter seg spesifikt til en småskala urban pilotinstallasjon (Small-Scale Urban Pilot Installation eller SUPI på engelsk) som er utviklet i prosjektet USAGE ved Natur videregående skole (Natur vgs.) i Oslo.

[Kunnskapsløftet 2020](#) har gitt et generelt utgangspunkt for dette arbeidet sammen med spesifikke fag og læreplaner for Natur vgs. Læreplanene som ble valgt, var bl.a.: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk, Landbruk og gartneri, Kjemisk og Biologi. KMS består av seks tematiske undervisnings- og læringsmoduler der det presenterer bakgrunnsinformasjon, gir eksempler på aktiviteter og diskusjonsemner knyttet til akvaponi i tillegg til andre nyttige ressurser som en ordliste. De undervisnings- og læringsmodulene er: Bærekraft; Plantevekst, -helse og -utvikling; Dyrevelferd; Vannkemi og -kvalitet; Urban dyrking; og Økonomi- og forretningsdrift.

Akvaponi gir mulighet for læring på tvers av mange fag og kan spesielt berike undervisningen i STEM-fagene (Science, Technology, Engineering, and Mathematics på engelsk). Denne KMS-en har som mål å gi standardmetoder for å bruke akvaponi i undervisningen eller som læringsarena i klasserommene på videregående skoler i Norge.

## Summary

This document/report represents a classroom model system (CMS) or instructional tool for teachers to implement collaborative learning through different modules relevant to aquaponics. This CMS can be adapted and customized as needed and utilizes aquaponics as a learning arena to explore existing global challenges. This CMS links specifically with the Small-Scale Urban Pilot Installation (SUPI) developed within the USAGE project in Norway at Natur videregående skole (Natur VGS), a high school/upper secondary school in Oslo.

The Norwegian National Curriculum (called "[Kunnskapsløftet 2020](#)") has provided an overall point of departure for this work along with specified subjects and curriculum at Natur VGS. The varying subject curricula selected include: Agriculture, fishing and forestry; Natural science; English; Mathematics; Agriculture and horticulture; Chemistry; and Biology. The CMS is divided into six topical teaching and learning modules that provide background information, examples of activities and discussion topics that connect to aquaponics, and further resources such as a glossary. The teaching and learning modules include: Sustainability; Plant growth, health and development; Animal welfare; Water chemistry and quality; Urban farming; and Economy and business operations.

Aquaponics provides an opportunity for interdisciplinary learning across many subjects and through aquaponics, there is the potential to enrich classes in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). This CMS aims to provide standard methods for the implementation of aquaponics in teaching or as a learning arena for high school/upper secondary school classrooms in Norway.



## Liste over akronymer og kjemiske symboler

ATP	adenosine triphosphate
C	karbon
Ca	kalsium
CaCO <sub>3</sub>	kalsiumkarbonat
CO <sub>2</sub>	karbondioksid
CO <sub>3</sub>	karbontrioksid
Cu	kobber
DFT	Deep Flow Technique
DO	oppløst oksygen
DWC	Deep Water Culture
EU	Den europeiske union
FAO	Food and Agriculture Organization (FNs organisasjon for ernæring og landbruk)
GHG	greenhouse gas (klimagass)
GSA	Guidelines for Sustainable Aquaculture (retningslinjer for bærekraftig akvakultur)
H	hydrogen
H <sub>2</sub> O	vann
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	hydrogenfosfat
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	dihydrogenfosfat
IAA	integrated agriculture-aquaculture
ISO	International Organization for Standardization (Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen)
K	kalium
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kaliumkarbonat
KMS	klasseromsmodellsystem
LCA	Life Cycle Assessment (livsløpsvurdering)
LCI	life cycle inventory (livssyklusopplysninger)
LCIA	life cycle impact assessment (effektanalyse)
Mg	magnesium
N	nitrogen
N <sub>2</sub>	nitrogengass
NaHCO <sub>3</sub>	natriumbikarbonat
NFT	Nutrient Film Technique
NH <sub>3</sub>	ammoniakk
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ammonium
Ni	nikkel
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitritt
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitrat
O	oksygen
O <sub>2</sub>	oksygengass
P	fosfor
PE	polyetylen
PESTLE	political, economic, social, technological, legal, and environmental (politiske, økonomiske, sosiale, teknologiske, juridiske og miljømessige)
PVC	polyvinylklorid
RAS	resirkulerende akvakultur systemer
S	svovel
SDG	Sustainable Development Goal (FNs bærekraftsmål)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	sulfat
STEM	Science, Technology, Engineering, and Mathematics
SUPI	Small-Scale Urban Pilot Installation (småskala urban pilotinstallasjon)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

#### Liste over akronymer og kjemiske symboler

TAN	Total Ammonia Nitrogen (totalt ammoniakknitrogen)
TSS	totalt suspendert stoff
UN	United Nations (De forente nasjoner)



# 1 Introduksjon

Dette dokumentet / denne rapporten beskriver et *klasseromsmodellssystem (KMS)* for undervisning og læring ved bruk av et akvaponisystem, nærmere bestemt en småskala urban pilotinstallasjon (Small-Scale Urban Pilot Installation). Pilotinstallasjonen (Small-Scale Urban Pilot Installation eller SUPI på engelsk) er utviklet som en del av prosjektet USAGE ved Natur videregående skole (Natur vgs.) i Oslo. KMS er knyttet opp mot læreplanverket. Det presenterer bakgrunnsinformasjon innhentet fra artikler, bøker og rapporter og gir eksempler på aktiviteter og diskusjonsemner knyttet til akvaponi (aquaponics på engelsk). Det er også andre nyttige ressurser som en ordliste med relevante ord og begreper.

I dette dokumentet defineres et *klasseromsmodellssystem (KMS)* som et ressurshefte eller undervisningsverktøy som brukes av lærere til å sikre kollektiv læring gjennom formidling av emner knyttet til akvaponi og aktuelle globale utfordringer, og som kan tilpasses og tilrettelegges ut fra behov.

Et akvaponisystem i skolen (eller annet egnet undervisnings- og læringssted) består av to trinn: i) etablering og bygging/installering av et akvaponisystem og ii) drift, tilsyn og vedlikehold av akvaponisystemet. Dette dokumentet omfatter ikke teknisk informasjon om opprettelse av et slikt system eller regelverkskrav for innhenting av nødvendige tillatelser, da det kan variere fra sted til sted / land til land. Man kan likevel dra nytte av undervisnings- og læringsaktivitetene allerede i den innledende idé- og planleggingsfasen og noe av denne informasjonen er derfor tatt med, slik at den kan knyttes til aktivitetene og diskusjonsemnene i modulene. Der det finnes et veletablert akvaponisystem, er det viktig å ha rutiner for drift, tilsyn og vedlikehold. Maler for rutinemessig stell er også tatt med. Mange av aktivitetene er brede nok til å anvendes selv om akvaponisystemer ikke er tilgjengelige.

## 1.1 Hvordan bruke KMS og dette dokumentet







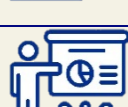


KMS presentert i dette dokumentet legger vekt på erfaringslæring og eksperimentell læring, og målet er å fremme en undervisningsfilosofi som bygger på vitelyst og naturbasert læring. KMS består av seks tematiske undervisnings- og læringsmoduler: Bærekraft; Plantevekst, -helse og -utvikling; Dyrevelferd; Vannkjemi og -kvalitet; Urban dyrking; og Økonomi- og forretningsdrift. Teksten i hver modul skal være en tilleggsressurs for lærere, især ved tverrfaglig arbeid. Til hver av modulene følger det også med forslag til individuelt arbeid, gruppearbeid og akvaponirelaterte emner som kan drøftes i klasserommet.

De tematiske modulene er selvstendige, men for å få et godt grunnlag bør «Introduksjon til akvaponi» alltid gjennomgås før en begynner på den enkelte modulen. Tabell 1 viser anbefalt modulrekkefølge i en undervisnings- og læringssammenheng. Tabell 2 forklarer de ulike læringstypene som brukes i KMS og i dokumentet for hver modul. Ikonene i denne tabellen går igjen i hele dokumentet og i hver modul i separate tabeller med foreslåtte aktiviteter. Læringstypene har som mål å integrere læreplanverkets fem grunnleggende ferdigheter: lesing, skriving, regning, muntlige ferdigheter og digitale ferdigheter.

Tabell 1. Foreslått rekkefølge av modulene.

Når modulen skulle være fullført	Modul
Obligatorisk før hands-on eller praktisk arbeid relatert til akvaponi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduksjon til akvaponi</li> <li>• Plantevekst, -helse og -utvikling</li> <li>• Dyrevelferd</li> <li>• Vannkjemi og -kvalitet</li> </ul>
Under hands-on eller praktisk arbeid relatert til akvaponi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantevekst, -helse og -utvikling</li> <li>• Dyrevelferd</li> <li>• Vannkjemi og -kvalitet</li> </ul>
Når som helst	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduksjon til akvaponi</li> <li>• Bærekraft</li> <li>• Urban dyrking</li> <li>• Økonomi- og forretningsdrift</li> </ul>

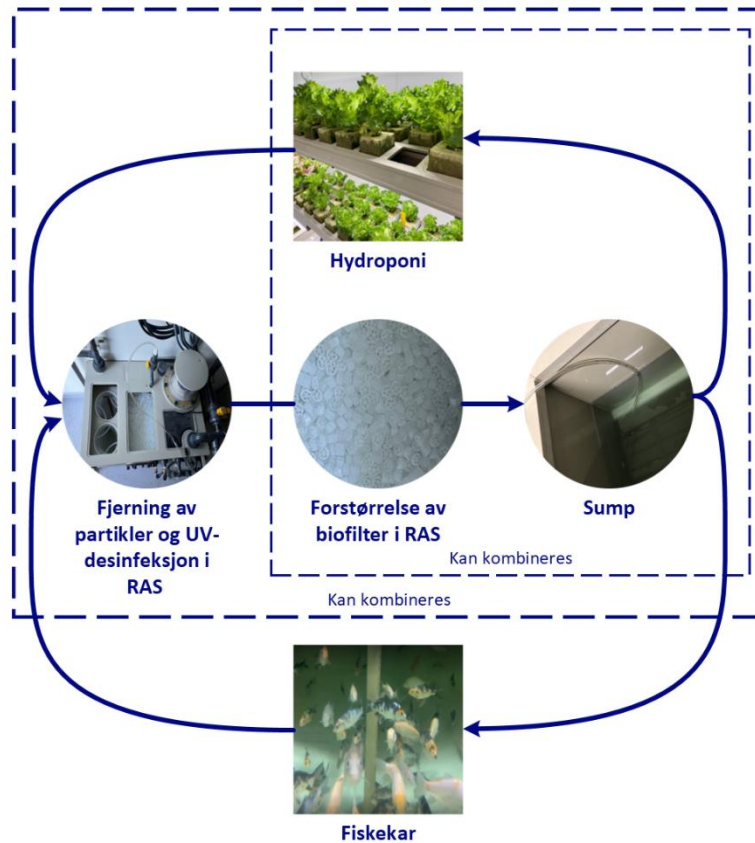
Tabell 2. Læringstyper som brukes i KMS og i dette dokumentet (tilpasset fra Junge et al., 2020).  
Ikonerne i denne tabellen brukes under foreslåtte aktiviteter i hver modul.

Ikona*	Læringstype	Beskrivelse	Med akvaponi	Uten akvaponi
	Skape	Tegne eller vise systemer og/eller anatomiske trekk ved organismer	X	X
	Diskutere/drøfte	Stille spørsmål og drøfte i grupper og/eller i plenum	X	X
	Utforske	Søke og oppdage gjennom bruk av nettressurser og/eller eksterne ressurser	X	X
	Vokse	Hands-on, praktisk erfaring med akvaponi	X	
	Undersøke	Gjennomføre forskning og sitere kilder	X	X
	Observere og samle inn data	Foreta observasjoner og samle inn data om akvaponi ved hjelp av maler for rutinemessig stell av akvaponisystemer	X	
	Holde foredrag	Presentere og forklare arbeidet i grupper og/eller i plenum	X	X
	Problemløsning	Finne løsninger på komplekse problemer	X	X
	Skrive	Produsere skriftlig materiale og sitere kilder	X	X

\*Ikoner henholdsvis fra [Noun Project](#) (CC BY 3.0) av Bestdesignmarket, businessicons13, Creative Stall, Tri H, 주희 김, Agung Pamuji, riyani sena, Yogi Aprellyanto, og Edwin PM

## 1.2 Hva er akvaponi?

**Akvaponi** er en kombinasjon av to ulike teknologier: *hydroponi*, eller vannbasert planteproduksjon uten jord, og *akvakultur*, eller kultivering av organismer i vann. Dette finner sted i et lukket sirkulasjonssystem der planter drar nytte av avfallsprodukter fra fisk og renser vannet kontinuerlig sammen med nitrifikasjonsbakterier (Junge et al., 2017). Se Figur 1 for hovedbestanddelene i Natur vgs.' akvaponisystem.



Figur 1. Hovedbestanddelene i Natur vgs.' akvaponisystem (tilpasset fra Junge et al., 2020). «RAS» står for resirkulerende akvakultur systemer.

## 1.3 Akvaponi i undervisningen

Med akvaponi har en muligheten til å berike undervisningen i STEM-fagene (Science, Technology, Engineering, and Mathematics på engelsk) (Junge et al., 2019). Akvaponi gir mulighet for læring på tvers av mange fag. Ikke bare viser akvaponi grunnleggende biologiske og økologiske prinsipper gjennom observasjon av dyre- og plantekretsløp, men også hvordan en kan anvende kjemi til å analysere vannkvaliteten, fysikk og matematiske ferdigheter til å beregne vannmengden og finansielle ferdigheter til å selge høstede produkter (Junge et al., 2017; Maucieri et al., 2018). Ettersom KMS finnes på både norsk og engelsk, kan akvaponi gi norske studenter en unik mulighet til å lære seg yrkesrettet engelsk gjennom praktisk og hands-on arbeid. Det er også et eksempel på tverrfaglig læring innen STEM-fag og humanistiske fag. Tabell 3 viser mulige fordeler og utfordringer ved bruk av akvaponi i opplæringen.

Autentisk kontakt med den naturlige verden er viktig for at studentene skal kunne oppleve naturen på nært hold, samt for å tilegne seg praktiske ferdigheter som er i tråd med eksperimentell læring og den

viktige rollen det spiller i læringsprosessen (Hart et al., 2014). Akvaponi kan også være et effektivt verktøy i klasserommet, der det kan brukes til å utforme naturlige akvatiske systemer i urbane områder hvor det er begrenset tilgang til naturmiljø (Hart et al., 2014). I lærebøker vises økosystemer vanligvis som abstrakte figurer, mens akvaponi gir studentene mulighet til å tilegne seg dypere kunnskap om de ulike delene av økosystemet og de rollene som produsenter, konsumenter og nedbrytere spiller (Hess-Erga et al., 2018).

Akvaponi styrker også systemtenkningskompetanse ved å se på systemer i form av relasjoner i stedet for å fokusere på enkelte deler (Junge et al., 2014). Systemtenkning defineres som evnen til å identifisere og beskrive et system av interesse og trekke konklusjoner om systemets prosesser (J.Wilson et al., 2020).

*Tabell 3. Potensielle fordeler og utfordringer med akvaponi i utdanningen for å hjelpe lærere med å håndtere forventningene sine (Hart et al., 2014).*

Potensielle fordeler	Potensielle utfordringer
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koble til naturen, systemtenkning, livssyklustilnærming til læring</li> <li>• Hands-on, aktiv undervisning og læring, produksjon og produktbasert</li> <li>• Tverrfaglighet, inkludert vitenskap, teknologi, ingeniørvitenskap og matematikk; business administrasjon; bærekraft</li> <li>• Bygge fellesskapsforbindelser</li> <li>• Økende trend innen akvaponi som matproduksjon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidsforpliktelse spenner fra planlegging, innsamling, konstruksjon, implementering til vedlikehold</li> <li>• Tekniske vanskeligheter, inkludert rørleggerarbeid, elektronikk, vannkjemi</li> <li>• Plass- og ressursbegrensninger</li> <li>• Helge-/ferie-/sommerstell, tilstrekkelig opplæring av støttepersonell og/eller engasjement fra studenter</li> <li>• Mangel på lett tilgjengelig/tilgjengelig informasjon</li> </ul>

## 2 Metode

Fagene som er spesifisert i KMS og i dette dokumentet, har som mål å gjenspeile Natur vgs.' læreplan og [Kunnskapsløftet 2020](#). Fagene ble valgt i felleskap av lærere ved Natur vgs. og forskere i NIVA. Læreplanene som ble valgt, var bl.a.: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk P, Landbruk og gartner næring, Kjemi og Biologi.

Kompetansemålene for følgende fag ble først fastsatt av en faglærer i mars 2023: Naturbruk, Naturfag og Landbruk og gartner næring. Dette ble kontrollert opp mot læreplanene fra Utdanningsdirektoratet i mai 2023 for å sikre at KMS har de aller siste kompetansemålene. Kompetansemål for de andre fagene ble drøftet og valgt via e-post og i felles arbeidsmøter mellom lærere ved Natur vgs. og en forsker ved NIVA. Det første arbeidsmøtet fant sted ved Natur vgs. tirsdag 6. juni 2023. Her ble kompetansemålene valgt, med unntak av Biologi 1 og 2, som ble lagt til av en forsker ved NIVA under arbeidet med modulen «Plantevekst, -helse og -utvikling». Kompetansemålene for faget Engelsk ble fastsatt utenfor arbeidsmøtene av en faglærer i en e-post av 25. august 2023. Kompetansemålene for Biologi 1 og 2 ble dobbeltkontrollert av en kjemilærer ved Natur vgs. i en e-post av 18. oktober 2023, da disse fagene ikke er en del av Natur vgs.' læreplaner. Den 24. oktober 2023 ble det holdt et nytt arbeidsmøte på skolen for å oppmuntre flere lærere ved Natur vgs. til å delta. Formålet med møtet var å forbedre det nåværende innholdet ved å drøfte hvordan akvaponi bedre kan innlemmes i de enkelte emneområdene. I denne prosessen ble undervisnings- og læringsmodulene valgt i felleskap av forskere ved NIVA og godkjent av lærere ved Natur vgs.

Rekkefølgen av modulene og læringstypene som er brukt i KMS og i dette dokumentet, bygger på læreboken *Aquaponics Textbook for Higher Education Curriculum for Teachers*. Læringstypene har også som mål å integrere læreplanverkets fem grunnleggende ferdigheter: lesing, skriving, regning, muntlige ferdigheter og digitale ferdigheter. Flere læringstyper ble opprettet for å klassifisere aktivitetene på tvers av alle moduler.

Det ble valgt en kvalitativ metode for å analysere dokumenter og formidle informasjon og ressurser i denne KMS-en. Det ble også foretatt et innledende søk i flere internettdatabaser (Science Direct, Springer Link, Wiley Online Library) ved hjelp av nøkkelord basert på undervisnings- og læringsmodulene. Etter hvert som informasjonen ble innhentet, oppsto det naturligvis kunnskapshull. Disse ble fylt ved å gjennomføre andregangs- og tredjegangssøk.

### 3 Innlemming i læreplanverket

Det finnes mye informasjon og flere ressurser om akvaponi, men så vidt vi vet, finnes det ingen standardmetoder for bruk av akvaponi i undervisningen eller som læringsarena i klasserommene på videregående skoler i Norge.

Norge har et læreplanverk for grunnskolen og videregående opplæring. I denne KMS-en fokuserer vi på aktiviteter rettet mot videregående opplæring. [Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020](#) gjelder for ulike klassetrinn og fag (Utdanningsdirektoratet, 2022) og har gitt et generelt utgangspunkt for dette arbeidet sammen med spesifikke fag og læreplaner for Natur vgs. Det tverrfaglige temaet «Bærekraftig utvikling» under læreplanverket står i sentrum av denne KMS-en, og setter studentene i stand til å utvikle kompetanse i hvordan de kan ta ansvarlige valg og handle etisk med miljøbevissthet. Alle kompetansemålene ble valgt i fellesskap av lærere ved Natur vgs. og forskere ved NIVA og er hentet fra læreplaner i ulike fag fastsatt fra Utdanningsdirektoratets nettsider. Læreplanene som ble valgt, var bl.a.: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk P, Landbruk og gartneri, Kjemi og Biologi.

For hver av de seks ulike/tematiske undervisnings- og læringsmodulene finnes det tilhørende tabeller som inneholder alle valgte kompetansemål for læreplanene i ulike fag. Informasjonen og ressursene i denne KMS-en for akvaponi i opplæringen tar sikte på å knyttes opp mot disse kompetansemålene for å sikre samsvar med den generelle delen av læreplanverket.

## 4 Introduksjon til akvaponi

### 4.1 Bygging/installasjon av et akvaponisystem

Før installasjon av et akvaponisystem bør lærere gå gjennom spørsmålene nedenfor som en veiledning for planleggingen (Hart et al., 2014; Junge et al., 2020):

1. Hvorfor ønsker vi å bruke et akvaponisystem i klasserommet eller på skolen? Hva er hensikten og læringsmålene for systemet? Ved å svare på dette spørsmålet vil det bli lettere å identifisere mål, fastsette tidslinjer og planlegge læreplaner.
2. Hvilket positivt utfall vil bruk av et akvaponisystem få (for eksempel: nå ut til mange studenter, læringserfaring for alle involverte, systemer brukt i en viss tidsperiode, stekt fisk til lunsj, selvgående virksomhet)?
3. Hvordan kan vår visjon om et positivt utfall omsettes til konkrete mål for systemet? Hva skjer hvis målene ikke blir oppfylt, eller hvis de endrer seg i løpet av prosessen?
4. Hvordan kan vi sikre at alle interessenter (for eksempel skoler, lærere, administratorer, studenter, foreldre) har samme visjon og mål? Hvordan kan vi kommunisere tydelig på hvert trinn i prosjektet?
5. Hva er en realistisk tidslinje, tatt i betraktning våre mål, finansiering, personale, skoleårsbegrensninger og eventuelle hindringer knyttet til lover og regler? Er det et midlertidig eller langsiktig prosjekt, og hvis permanent, hvordan kan vi opprettholde og fornye ressurser og energi? Vær oppmerksom på at det tar cirka seks måneder før biologiske filter er etablert og har sirkulert hele volumet.
6. Tatt i betraktning våre mål for systemet, vår visjon om et positivt utfall og våre realistiske begrensninger, hva er ideell størrelse på systemet (for eksempel bordakvarium kontra liten til medium skala kontra kommersielt system)?
7. Er det nok plass til å oppfylle vår visjon om et positivt utfall og til å romme det valgte systemet? Ting en bør ta i betraktning, er klima, behov for oppvarming og/eller kjøling, tilgang utenom skoletiden, tilgang til vann og strøm, bygningens strukturelle integritet, vekten av vann, drenering og risikoen for større vannlekkasjer.
8. Hvem skal bygge systemet? Har de erfaring, og har de fått opplæring? Hvem andre vil ta del i byggingen av systemet, slik at flere personer forstår hvordan systemet fungerer?
9. Hvem vil ha daglig tilsyn med systemet? Hvilken opplæring har de fått, og hvilken støtte vil de ha behov for? Vil det være behov for stell på fridager (for eksempel i helger og ferier)? Hvordan vil stell av systemet delegeres?
10. Vil det være nødvendig med stell i lengre ferier (for eksempel i sommer- og vinterferien)? Hvem vil i så fall stå for dette? Hva vil skje med plantene og/eller fisken hvis systemet stenges ned? Vil de flyttes eller høstes inn, og hvordan?

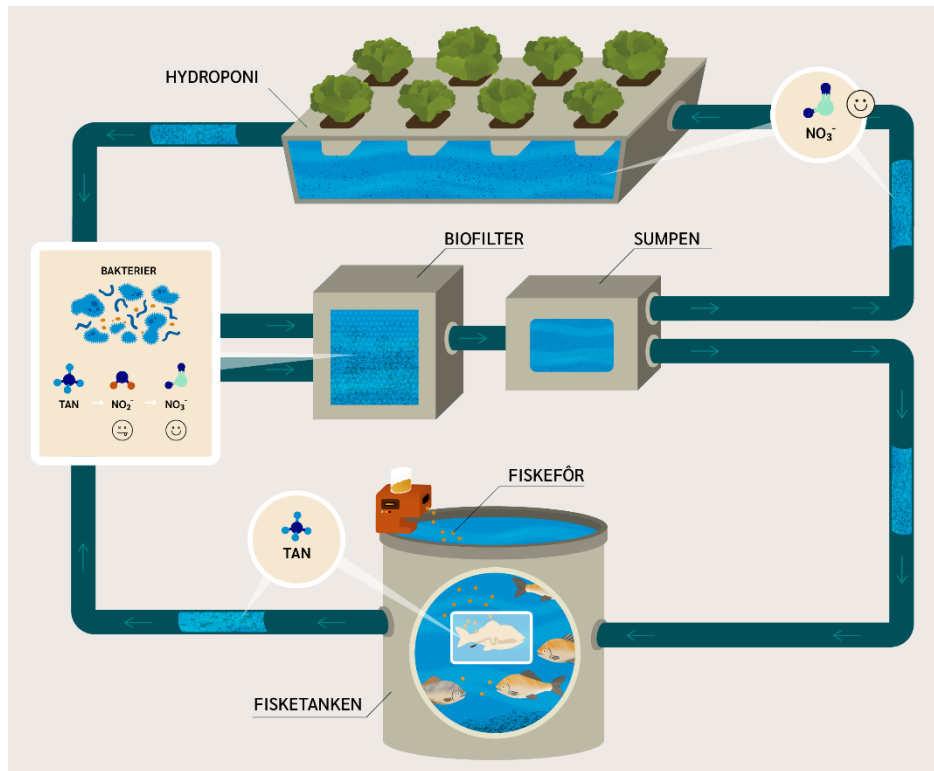
For mer informasjon om hvordan en kan bygge et enkelt, lite akvaponisystem, se teknisk dokument «[Small scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming](#)» utarbeidet av Food and Agriculture Organization (FAO).

### 4.2 Grunnleggende om akvaponi

Akvaponisystemer kombinerer *hydroponi* og *akvakultur* og deler en felles ressurs som vann eller næringsstoffer i et lukket sløyfe, der minst 50 prosent av næringsstoffene som går til plantene, kommer fra fiskeavfall (Lennard & Goddek, 2019). Det som må tilføres ethvert akvaponisystem er: fiskefôr og/eller ekstra gjødsel, energi til belysning, oksygen, varme og pumping, karbondioksid dosering og



biologisk bekjemping, og utbytte er fisk og planter (Goddek et al., 2019). Figur 2 viser et eksempel på et akvaponisystem. Bakteriekolonien i akvaponisystemer er kompleks og har en rekke funksjoner. Den omdanner bl.a. ammoniakk til nitrat, er avgjørende for fiskehelsen og påvirker oksygenforbruket. Den produserer også avfallsprodukter som karbondioksid og ammoniakk under nedbrytingen av organisk stoff og partikler (Fjellheim et al., 2017).

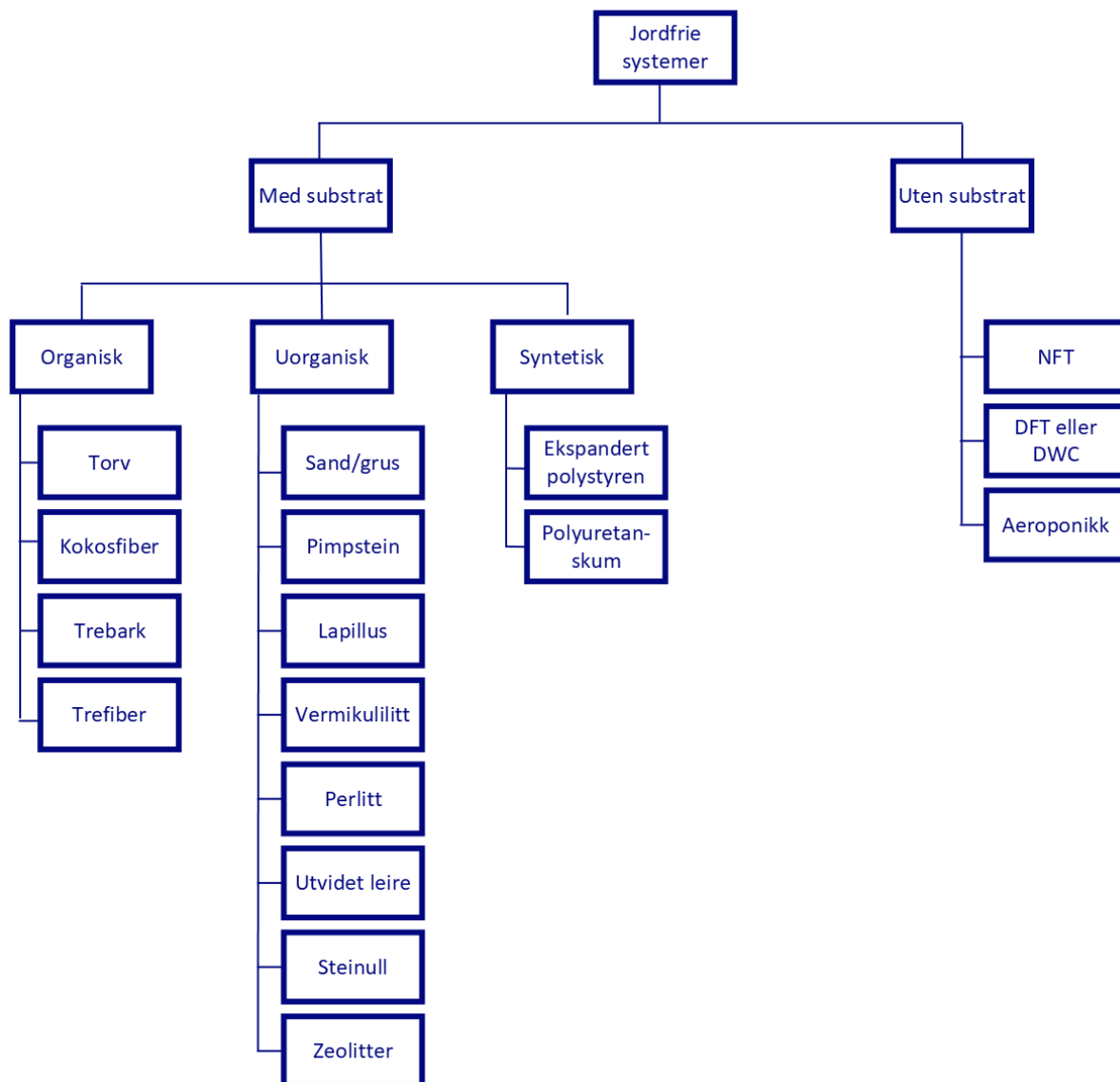


Figur 2. Eksempel av et akvaponisystem (illustrert av AVIA Produksjon, 2024).

**Hydroponi** innebærer dyrking av planter uten jord, der plantene får vann og mineraler gjennom tilførsel av en næringsvæske, med eller uten et vekstmedium som steinull, torv, perlitt, pimpstein, kokosnøttfiber osv. (Maucieri et al., 2019). Se Figur 3 for eksempler på vanlige materialer som brukes som vekstmedium eller substrat.

Noen typer hydroponisystemer som brukes til akvaponi (Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019):

- «Nutrient Film Technique (NFT)» eller et klassisk hydroponisystem der næringsvæsken flyter i traue.
- Med «Media Bed Technique» (dyrking i bed med vekstmedium) utnyttes plassen effektivt, og vekstmediet brukes til å holde røttene på plantene på plass og fungerer som både et mekanisk og biologisk filter.
- «Deep Flow Technique (DFT)» eller «Deep Water Culture (DWC)» der plantene dyrkes på flytende plater med hull i der plantene vokser i nettkurver og med røttene i vann, eller hengende i beholdere med næringsmiddelløsning.



Figur 3. Materialer som kan brukes som substrat i jordfrie systemer (tilpasset fra Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019).



Figur 4. Crispi er en krysning mellom isbergsalat og friséesalat. Den er svært populær og utbredt i Norge og ideell for dyrking i akvaponisystemer. (Hess-Erga et al., 2013).

Plantearter som ofte dyrkes i akvaponisystemer, er bladgrønnsaker, urter, frukt og bær. Planter som anbefales for produksjon, er bl.a. bladsalat, da det finnes mange ulike typer, den er utstrakt i bruk, har kort veksttid og det finnes mye informasjon om forventet vekst og utvikling (Hess-Erga et al., 2013). Figur 4 viser en svært populær og utbredt bladsalat i Norge. Det er viktig å huske på at de ulike artene reagerer forskjellig i hydroponisystemer. Bladsalat vokser for eksempel best på dagtid ved en temperatur på 15–25 °C (og 16 timer med dagslys) og en nattetemperatur på 10–15 °C (Hess-Erga et al., 2013).

**Akvakultur** er oppdrett, dyrking og høsting av vannlevende dyr og planter i alle typer vannmiljøer. Akvakultur kan videre deles inn i ulike typer: kommersiell, bevarende, restorativ og

regenerativ. Disse begrepene er nærmere beskrevet i Tabell 4. Tydelige definisjoner av de ulike typene akvakultur er viktig i sektoren for å unngå forveksling av begrepene som brukes i ulike regelverkssammenhenger (Mizuta et al., 2023). Når akvakultur integreres i akvaponi, er det begrenset til dyr som lever i vann, da kun heterotrof *dyremetabolisme* produserer utslipp som kan brukes som næringsgrunnlag for autotrofe planter (Baganz et al., 2022).

Tabell 4. Definisjoner av akvakulturrelaterte termer og tilhørende begreper (Mizuta et al., 2023).

Term	Definisjon	Tilhørende begreper
Kommersiell akvakultur	Dyrking av en akvatisk organisme med den hensikt å øke produksjon og forbedre fiskebestander for eierskap av det endelige produktet.	Produksjon, seleksjon, råvare
Konserverende akvakultur	Dyrking av en akvatisk organisme for planlagt forvaltning og vern av en naturressurs.	Biologisk mangfold, miljøvern, konserverende klekkeri
Restorativ akvakultur	Kommersiell akvakultur eller selvbergingsakvakultur som støtter initiativer som gagnar miljøet / gagnar miljøet direkte, og som fremmer miljøbærekraft og økosystemtjenester, i tillegg til forsyning av sjømat og andre kommersielle produkter og muligheter for livsopphold.	Økosystemtjenester, biogene habitater, produksjonsforbedring
Regenerativ akvakultur	Kommersiell akvakultur eller selvbergingsakvakultur der søkelyset er på sosial, økonomisk og økologisk ansvar og stabilitet, med minimal ekstern tilførsel og miljøpåvirkning.	Politikk, sosial trivsel, miljøvennlig, holistisk produksjon og tenkning, polykultur

I **resirkulerende akvakultur systemer (RAS)** blir avløpsvann fra fisk behandlet og brukt om igjen i et system som er kontrollert og stort sett uavhengig av lokale forhold (Junge et al., 2020). RAS-enheten i akvaponisystemet på Natur vgs. behandler vannet ved å fjerne partikler ved hjelp av to posefilter. Den skummer og fjerner også partikler i en proteinskummer og sørger for *nitrifikasjon* i biofilteret og desinfisering ved hjelp av en UV-lampe. RAS defineres av enhetenes resirkuleringsgrad og reduserer behovet for ferskvann, samt energibehovet for oppvarming av produksjonsvannet, men de krever ekspertise, er avhengige av alarmsystemer og back-up-løsninger som er i drift og tilgjengelige øyeblikkelig (Fjellheim et al., 2017).

Per definisjon innebærer akvaponi kobling av to undersystemer, likevel kan akvaponisystemer enten være i en lukket sløyfe (koblet) eller i en åpen sløyfe (avkoblet) (Baganz et al., 2022). Akvaponi er en nyere form for «integrated agriculture-aquaculture (IAA)», der to eller flere akvakultur- og landbruksaktiviteter finner sted samtidig eller sekvensielt (FAO, 2022). Et akvaponisystem kan oppfylle flere mål samtidig. Hvis hovedmålet er å bruke det i undervisningen, vil egnede alternativer vises i listen over kategorier (se Tabell 5).

Tabell 5. Klassifisering av akvaponi i henhold til ulike designprinsipper og egnethet av ulike designalternativer for akvaponisystemer som skal brukes til undervisning (Junge et al., 2019; Maucieri et al., 2018). De best egnede alternativene vises med grønn tekst, alternativer med oransje tekst er mindre egnede, og alternativene med rød tekst er uegnede.

Designmål	Kategorier
Mål eller hovedinteressent	Kommersiell matplanteproduksjon Tilstrekkelig til husholdning Undervisning

Designmål	Kategorier
	Sosialt foretak Forgrønning og dekorasjon
Størrelse	L stort (>1000 m <sup>2</sup> ) M mellomstort (200–1000 m <sup>2</sup> ) S lite (50–200 m <sup>2</sup> ) XS veldig lite (5–50 m <sup>2</sup> ) XXS mikrosystemer (<5 m <sup>2</sup> )
Driftsmodus akvakulturkammer	Omfattende (fisketetthet for det meste under 10 kg/m <sup>3</sup> , integrert bruk av slam i vekstbed er mulig) Intensiv (obligatorisk slambehandling)
Ivaretagelse av vannkretsløpet	Lukket sløyfe («koblede» sløyfer): etter den hydroponiske komponenten resirkuleres vannet til akvakultur Åpen sløyfe eller rensing før utslipp («avkoblede» systemer): etter den hydroponiske komponenten resirkuleres vannet bare delvis til akvakulturkomponenten, eller ikke i det hele tatt
Vanntype	Ferskvann Regnvann Sjøvann
Type hydroponisystem	Vekstbed med ulike medier Flo-og-fjære-system Vekstposer Dryppvanning Dypvannsdyrking Nutrient Film Technique (NFT)
Arealbruk	Horisontalt Vertikalt

Det er viktig å rengjøre og desinfisere alle ventiler, strømningsmålere og annet utstyr etter høsting og/eller ved produksjonsslutt. Dette er for å unngå patogener. Vanlige tiltak mot patogener innebærer følgende (Stouvenakers et al., 2019; Yavuzcan Yildiz et al., 2019):

1. Unngå introduksjon av patogener i systemet ved å sikre ren vannforsyning, bruke sertifisert patogenfrie fiskebestander, gjennomføre brakklegging i en periode, rengjøre og sterilisere stedet (for eksempel fjerne planteavfall og desinfisere overflater), bruke egnet bekledning, sertifiserte frø, et eget rom til plantespiring og fysiske sperringer mot smittebærende insekter.
2. Begrense infeksjon av planter og/eller fisk og spredning av patogener under vekst.
  - a. Planteinfeksjoner kan forebygges ved å bruke resistente plantearter og desinfeksjonsmidler, unngå at planter utsettes for *abiotisk* stress, sørg for god avstand mellom plantene og forebygg algedannelse.
  - b. Fiskeinfeksjoner kan forebygges ved å bruke fiskestammer som er resistente mot patogener, gi kommersielle vaksiner, forebygg stress ved å unngå stor fisketetthet, fjerne forurensende elementer (for eksempel fôr som ikke har blitt spist, ekskretter, døde eller døende fisk) og desinfisere redskaper.
  - c. Begrense spredning av patogener i vekstperioden ved å overvåke miljøforhold som for eksempel lufttemperatur, fuktighet, ventilasjon, næringsmiddelløsninger osv.

## 4.3 Feilsøking og vedlikehold for rutinemessig stell av akvaponisystemer

Akvaponisystemer er komplekse, og flere ting kan gå galt. I Tabell 6 er det en oversikt over ulike ting en bør tenke på ved drift, tilsyn, vedlikehold og feilsøking av akvaponisystemer. Tabell 7 viser en sjekkliste for alt som må huskes når man overvåker og vedlikeholder systemet.

Etablering av rutinemessig stell av akvaponianlegget er viktig, og maler klare til utskrift og bruk i klasserommet finnes under «Vedlegg» i denne KMS-en: kontaktliste, daglig tilsyn av plantevekst og plantehelse, og vannkemi og -kvalitet. Disse malene er relevante både for driftsansvarlig og/eller for daglig tilsyn og stell av systemet. De kan også brukes av studentene til å registrere data og gjennomføre gruppearbeid. Det er også viktig å innhente driftsdata om akvaponisystemet for å følge med på utviklingen og for å kunne sammenligne dataene fra år til år. Det gir også gode muligheter for læringsaktiviteter.

Tabell 6. Hva kan gå galt i et RAS-anlegg eller akvaponisystem (Junge et al., 2020)?

Type/System	Årsaker
Utenfor kontroll	Oversvømmelse, tornadoer, orkan, vind, snø, is, storm, strømbrudd, vandalisme/tyveri
Personalfeil	Operatørfeil, oversett behov for vedlikehold som fører til svikt i reservesystemer eller systemkomponenter, deaktiverte alarmer
Vannivå i tanken	Dreneringsventil åpen, slamrør falt eller fjernet, systemlekkasje, ødelagt dreneringsrør, oversvømmelse i tank
Vannstrømning	Ventil stengt eller åpnet for mye, pumpevikt, tap av sugedyde, blokkert inntaksrist, blokkert rør, brist/brudd/limskader på returledning
Vannkvalitet	Lavt oppløst oksygen, høye CO <sub>2</sub> -nivåer, overmettet vannforsyning, høy eller lav temperatur, høye ammoniakkonsentrasjoner, nitritt eller nitrat, lav alkalitet
Filter	Gjennomslag/tette filter, stort falltap
Luftesystem	Viftemotor overopphetet på grunn av for høyt mottrykk, løs eller ødelagt drivrem, diffusor blokkert eller frakoblet, lekkasje i tilførselsledning

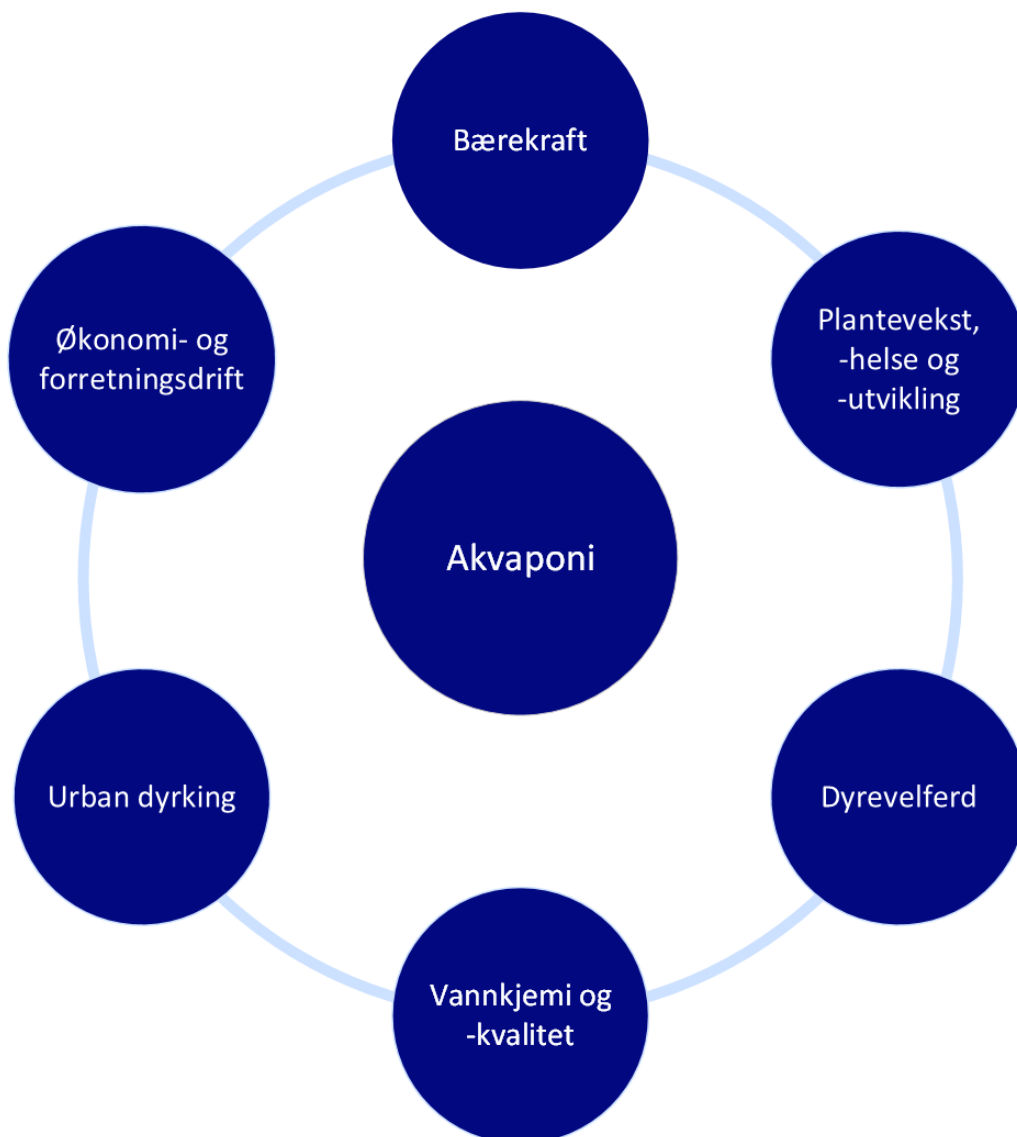
Tabell 7. Sjekkliste for vedlikehold av akvaponisystemet.

Oppgave	Daglig	Ukentlig	Månedlig	Høsting*	Årlig
<b>Fiskekar</b>					
Kontrollere vanntilførsel til fiskene	X				
Kontrollere lufttilførsel	X				
Kontrollere fiskens oppførsel (f.eks svømmer rolig, ikke magen/undersiden mot vannoverflaten)	X				
Måle vannkvaliteten for temperatur, pH, O <sub>2</sub> og konduktivitet	X				
Fjerne eventuelle døde/syke fisker	X				
Måle vannkvalitet for NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		X			
Føre fisken (hvis NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> verdiene er innenfor grensene)	X	X			
<b>Plantesystem/ hydroponi</b>					
Kontrollere vanntilførsel til plantene	X				
Observere plantene, og fjerne blader med tegn til skadedyr og sykdommer og døde blader.	X				
<b>Generell kontroll av systemet</b>					
Kontrollere alarmer og display	X				
Kontrollere ventilenes og pumpenes funksjon	X				
Kontrollere at vannstanden er over alle sensorer, filtre, biobrikker osv.	X				
Vaske sensorer og filtre		X		X	
Undersøke om det er sedimenter/ uønsket biofilm, og eventuelt vaske		X			
Vaske overflater (gulv og utstyr osv.)		X		X	
Kontrollere og telle inventar. Og eventuelt bestille utstyr		X			
Kontrollere og kalibrere sensorer			X		
Kontrollere, vaske og desinfisere alle ventiler, strømningsmålere (flowmeter) og annet utstyr				X	
Kontrollere og vedlikeholde utstyr					X

\*Høsting eller avsluttet produksjon

## 5 Klasseromsmodellssystem (KMS) for undervisning og læring ved bruk av et akvaponisystem

De seks undervisnings- og læringsmodulene er definert av forskere ved NIVA og godkjent av lærere ved Natur vgs. Bærekraft; Plantevekst, -helse og -utvikling; Dyrevelferd; Vannkjemi og -kvalitet; Urban dyrking; og Økonomi- og forretningsdrift (se Figur 5). Teksten i hver modul skal fungere som en tilleggsressurs for lærere, især lærere som jobber tverrfaglig, og inneholder forslag til akvaponiaktiviteter som kan gjennomføres i klasserommet. Målet med modulene har vært å knytte dem opp mot aktuelle tema innen akvaponi og dermed sikre tverrfaglig og eksperimentell læring, samt å oppmuntre studentene til helhets- og systemtenkning ved å tenke i relasjoner.



Figur 5. Undervisnings- og læringsmodulene i denne KMS-en.



## 5.1 Bærekraft

Akvaponisystemer deler en felles ressurs som vann eller næringsstoffer i et lukket system der ressursene resirkuleres og brukes om igjen i et selvforsynt system. Det gjør et akvaponianlegg til en ideell arena for å undervise i og lære om bærekraft. Tabell 8 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om bærekraft. Tabell 9 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til bærekraft.

Tabell 8. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisnings- og læringsmodulen om bærekraft.

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert næringsaktivitet</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drøfte hvordan naturbaserte produkter og tjenester kan utvikles innenfor rammen av bærekraftig utvikling og ressursforvaltning</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
<b>VG2</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling</li> </ul>

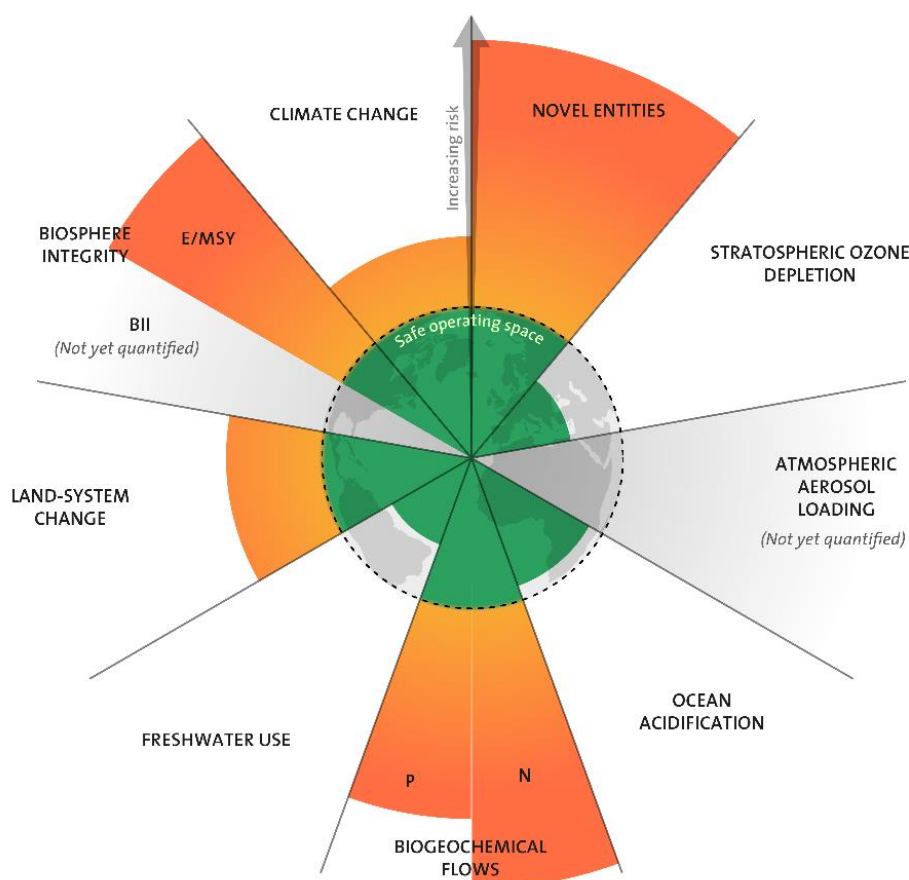
I rapporten fra FNs verdenskomisjon for miljø og utvikling fra 1987, Brundtland-rapporten, defineres **bærekraft** som det å sikre at dagens behov imøtekommes uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov (Brundtland, 1987). For å belyse og måle fremgangen i arbeidet for å bekjempe krisene som truer livsgrunnlaget for mennesker, utviklet FNs generalforsamling for første gang i 2017 et indikatorsett for FNs mål for bærekraftig utvikling (SDG). Indikatorene oppdateres hvert år av FNs statistikk-kommisjon. De 17 bærekraftsmålene skal skape balanse mellom sosial, økonomisk og miljømessig bærekraft. Akvaponisystemer har potensial til å knyttes opp mot SDG-målene i Figur 6 ettersom de kan levere mat på alternative og mer bærekraftige måter enn tradisjonelle matsystemer og gjenvinne og gjenbruke ressurser som næringsstoffer og vann. Jordens **naturressurser** kommer fra naturmiljøet og inneholder *biotiske* ressurser fra levende

organismer og organisk materiale og *abiotiske* organismer fra livløst og uorganisk materiale (Lewandowski et al., 2018).



Figur 6. SDG-indikatorer med potensielle forbindelser til akvaponi (UN, 2023).

Forholdet mellom menneskeheten og naturmiljøet er ufullkomment. Et eksempel på dette er **planetens tålegrenser** eller indikatorer som menneskeheten må holde seg innenfor for at den skal være trygg. Konseptet identifiserer ni globale prosesser og tilhørende grenser som ikke bør overskrides: klimaendringer, tap av naturmangfold (på jorden og i havet), forandrede biogeokjemiske strømmer av nitrogen og fosfor, reduksjon av ozonlaget, havforsuring, bruk av ferskvann, endret arealutnyttelse, kjemisk forurensing og opphoping av aerosoler i atmosfæren (Rockström et al., 2009). Se Figur 7 for illustrasjon av planetens tålegrenser. En **terskel** kan defineres som mengden press eller endringer i nøkkelvariabler i et miljø der et økosystems **vippepunkt** for å gå over i en ugunstig tilstand blir uunngåelig (Hillebrand et al., 2023). Et **vippepunkt** er punktet der en rekke små endringer av nøkkelvariabler blir signifikante nok til å forårsake en større, mer signifikant endring. Lite endring kan observeres frem til en kritisk terskel er passert, på hvilket tidspunkt potensialet for en total endring i tilstand er forventet (Scheffer et al., 2001). Ikke alle jordsystemprosesser har veldefinerte terskler, og det er kunnskapshull i forståelsen av alle terskler for planetens tålegrenser.



Figur 7. Illustrasjon av planetens tålegrenser, som ble utviklet for første gang i 2015 og deretter oppdatert i 2022 for å ta med nye enheter eller forurensende stoffer og materialer som plast

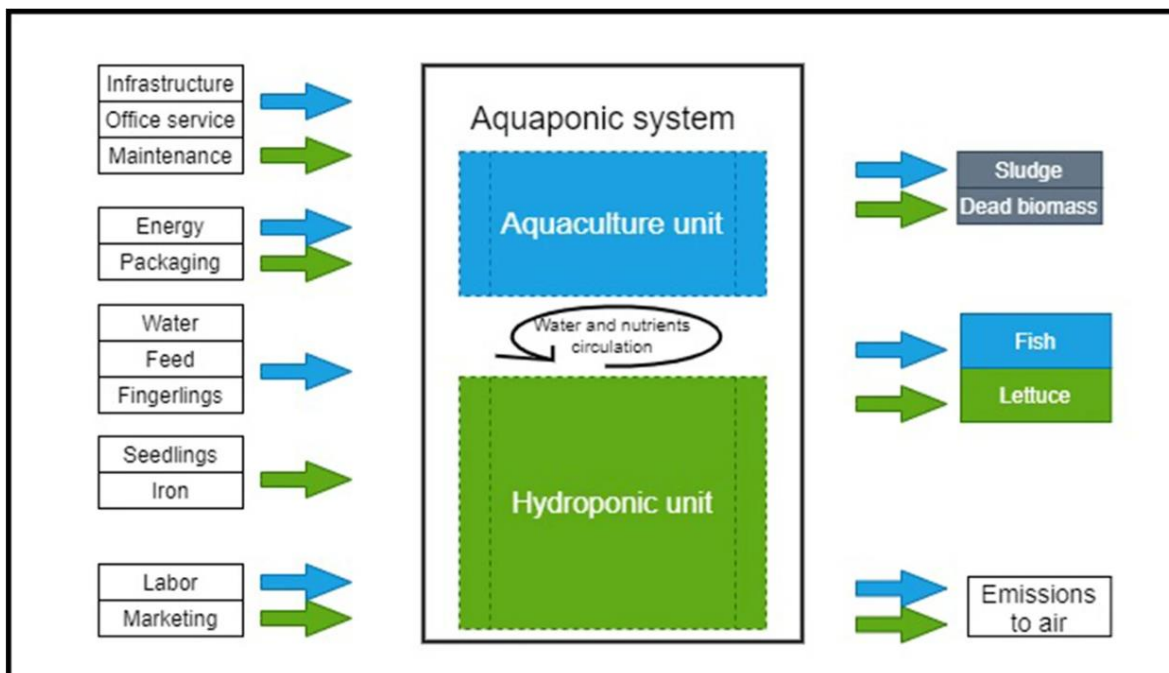
[\(utarbeidet av Azote for Stockholm Resilience Centre, på bakgrunn av analysen i Persson et al 2022 og Steffen et al 2015\).](#)

Det er ulike vippepunktatferder, der noen utløser rask respons (for eksempel omdanning av områder i regnskogen i Amazonas til savanne eller årstidsbetinget tørr skog) mens andre er selvforsterkende etter at en kritisk terskel er overskredet (for eksempel tap av permafrost i stor skala). Det er også indikasjoner på gunstige samfunnsmessige vippepunkt (Steffen et al., 2018). Når et sosialt eller samfunnsmessig vippepunkt utløses, vil det fremskynde en endring mot nye og mer hensiktsmessige tilstander (Aschemann-Witzel & Schulze, 2023), og i et systemtenkningsperspektiv kan «små inngrep utløse selvforsterkende responser som fremskynder systematisk endring» (Lenton et al., 2022). Sosiale og samfunnsmessige vippepunkt kan utløses av inngrep gjennom sosiale og teknologiske innovasjoner, økologiske og politiske inngrep, offentlige og private investeringer og offentlig informasjon (Lenton et al., 2022). Akvaponi i urbane områder har potensial til å utløse et sosialt eller samfunnsmessig vippepunkt for hvordan mennesker oppfatter bærekraften i matsystemer samt gjenvinning og gjenbruk av ressurser.

Det finnes ulike indikatorer og metrikk som brukes til å måle bærekraft på tvers av sektorer og fagfelt. Ecological Footprint© (klimafotavtrykk), som er utviklet av Global Footprint Network, måler menneskers behov for naturressurser og tilgjengeligheten av slike ressurser. Det finnes mange kvantitative metoder for å måle bærekraft i og miljøpåvirkning av matforsyningskjeder. EU-kommisjonen og FNs miljøprogram anbefaler bruk av livsløpsvurderinger (LCA) til politikktutforming og til å kartlegge og vurdere bærekraft og miljøpåvirkninger gjennom hele livsløpet til et produkt (Cucurachi et al., 2019). Figur 8 viser typiske LCA-grenser for et akvaponisystem.

I henhold til ISO 14040:2006 inkluderer prinsippene og rammeverket for LCA (Deconinck & Toyama, 2022):




- 1) definisjon av mål og omfang av LCA
- 2) livsløpsinventaranalyse (LCI) eller et flytskjema som dokumenterer og kvantifiserer alle innsatsfaktorer og utbytte på tvers av de ulike aktivitetene og underprosessene som skal vurderes
- 3) livsløpseffektvurdering (LCIA) eller kvantifisering av strømmer og den innvirkning de har
- 4) livssyklustolkning av resultater og rapportering og kritisk gjennomgang av LCA



Figur 8. Generisk skisse som viser livsløpsvurderingsgrenser for et akvaponisystem (Greenfeld et al., 2022).

Tabell 9. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til bærekraft.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne en plakate som viser syklusen i et akvaponisystem, og forberede en muntlig presentasjon der plakaten forklares ved bruk av relevant terminologi. <u>Tilleggsaktivitet</u> Fastsette innsatsfaktorer og utbytte, og hvor systemet er bærekraftig.</li> <li>Lage en minimodell av et akvaponisystem ved hjelp av materialer som finnes utendørs. Forberede og presentere modellen for klassen ved bruk av relevant terminologi.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hvilke konsekvenser har endringer i klima og arealbruk for biologisk mangfold, og hvilken rolle kan akvaponi spille i gjennomføring av tiltak for mer bærekraftig forvaltning?</li> <li>Hvordan har akvaponi potensial til å fremskynde et sosialt eller samfunnsmessig vippepunkt for hvordan mennesker ser på bærekraft i matsystemer?</li> <li>Hvordan vil stigning av havnivået og ekstremvær påvirke Norges evne til å produsere sin egen mat?</li> <li>Hvordan kan prosessene i et akvaponisystem sammenlignes med et naturlig økosystem?</li> <li>Hva er fordelene og ulempene med akvaponi?</li> <li>Hvilke mulige sjokk, stress og risikoer er akvaponisystemer utsatt for? Forklare hvordan akvaponisystemer er motstandsdyktige og kan absorbere slik påvirkning, samt hvor de mangler motstandskraft.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velge minst tre av SDG-indikatorene med potensielle forbindelser til akvaponi i Figur 6, og identifisere de spesifikke målene knyttet til akvaponi.</li> <li>Sammenligne minst tre av SDG-indikatorer med potensielle forbindelser til akvaponi i Figur 6 fra Norges landprofil med en landsprofil på et annet</li> </ul>

Læringstype	Aktivitet
	<p>kontinent ved hjelp av nettstedet (på engelsk): <a href="https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/countryprofiles/NOR">https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/countryprofiles/NOR</a>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifisere andre SDG-indikatorer og deres spesifikke mål som kan knyttes opp mot akvaponi, og som ikke er tatt med i Figur 6.</li> <li>• Beregne Ecological Footprint© (klimafotavtrykk) ved hjelp av nettstedet (på engelsk): <a href="https://www.footprintcalculator.org/home/en">https://www.footprintcalculator.org/home/en</a>. Sammenligne resultatene med klassekameratenes. Bruke dette prinsippet som en veiledning når en ser på prosessene i akvaponisystemet og alle innsatsfaktorer og utbytte.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruke nettressurser til å vurdere om akvaponi er mer bærekraftig enn konvensjonell matproduksjon, distribusjon og forbrukerkjeder. <u>Tilleggsaktivitet:</u> Vurdere om kildene er pålitelige, eller om de kan være partiske</li> <li>• Bruke nettressurser til å søke etter mer informasjon om ernæring og konsum av akvatisk mat. Skrive 500 ord og oppgi kilder.</li> <li>• Bruke informasjonen i «Introduksjon til akvaponi», søke på internett og vurdere hvor bærekraftige noen av de ulike teknologiene knyttet til akvaponi er. Skrive 500 ord om funnene. Oppgi kilder.</li> <li>• Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til bærekraft, laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velge et tema av interesse, og skrive 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan forbedre matsikkerheten i en selvvalgt region. Oppgi kilder.</li> <li>• Definere og kategorisere ulike typer naturressurser.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Søke i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li> </ul>

## 5.2 Plantevekst, -helse og -utvikling

Planteproduksjon, eller *hydroponi*, er en viktig del av akvaponi. Denne modulen om plantevekst, -helse og -utvikling er derfor relevant for undervisning og læring om akvaponisystemer. Tabell 10 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om plantevekst, -helse og -utvikling. Tabell 13 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til bærekraft.

Tabell 10. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisnings- og læringsmodulen om plantevekst, -helse og -utvikling.

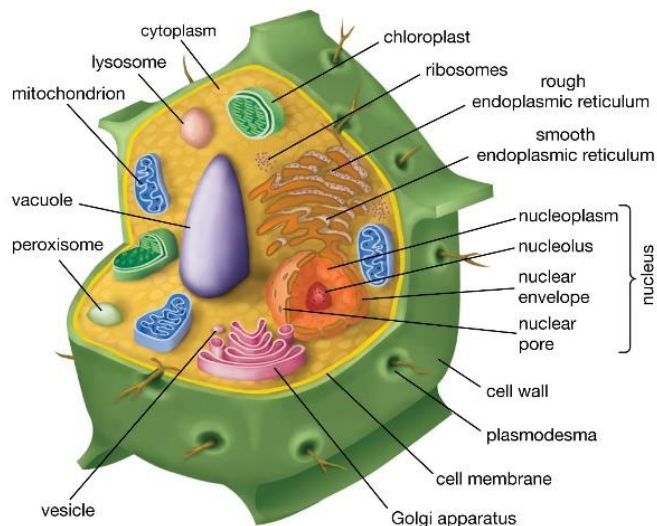
Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stille planter basert på kunnskaper om artenes biologi og kretsløpene i nature</li> <li>• klassifisere og presentere et utvalg av arter og materialer og velge materialer ut fra arbeidsoppdrag og materialenes egenskaper</li> <li>• følge bruksanvisning og bruke manual for utstyr som benyttes i produksjonen, og foreta enkelt ettersyn, vedlikehold og enkle reparasjoner</li> <li>• foreta enkle beregninger av råvare- og materialforbruk, innsatsfaktorer og utbytte</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>• risikovurdere egne forsøk og håndtere avfallet fra disse på en forsvarlig måte</li> <li>• utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> <li>• gjøre rede for hvorfor noen grunnstoffer er viktige for liv, og vurdere hvordan menneskelig aktivitet kan påvirke kretsløpene til disse stoffene</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>• skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>• utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
<b>VG2</b>			
Landbruk og gartneri	LGA02-03	<a href="#">Produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• planlegge, gjennomføre, vurdere og dokumentere arbeidsoppgaver innenfor landbruk og gartneri ut fra produksjonenes egenart,</li> </ul>

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
			<p>organismenes biologi, behov for stell, og gjeldende regelverk</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>gjøre rede for symptomene til de vanligste dyre- og plantesykdommer og hvordan disse spres, og vurdere tiltak som kan forebygge sykdom og smitte</li> <li>dyrke planter i ulike jordtyper og dyrkingsmedier og gjøre rede for mikro- og makronæringsstoffers betydning for levende organismer</li> </ul>
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>planlegge og gjennomføre forsøk, estimere usikkerhet og vurdere feilkilder, presentere resultater og argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner</li> <li>bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner</li> <li>gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>planlegge og gjennomføre undersøkelser, samle, behandle og tolke data, og presentere resultat og funn</li> <li>utforske sammenhenger mellom anatomi og fysiologi og gjøre rede for prinsippene for livsprosessene i organismer</li> <li>utforske sammenhenger mellom cellestrukturer og -funksjoner og gjøre rede for hvordan cellulære membraner danner grunnlag for kommunikasjon mellom celler</li> <li>gjøre rede for hvordan virale og mikrobielle sykdommer oppstår, sprer seg og blir nedkjempet</li> <li>utforske abiotiske og biotiske faktorer i et økosystem, drøfte sammenhenger som forklarer det biologiske mangfoldet og reflekter over naturens egenverdi</li> </ul>
<b>VG3</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>forstå og bruke kjemisk terminologi og fagspråk i faglig kommunikasjon</li> <li>planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk</li> <li>utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske ei biologisk problemstilling, analysere innsamlede data, argumentere for valg av metoder og drøfte resultat og funn</li> <li>drøfte hvordan menneskelig aktivitet påvirker kretsløpene, og utforske tiltak for å ivareta dem</li> <li>utforske hvordan enzym fungerer, og gjøre rede for den rollen enzym spiller i metabolske prosesser</li> <li>sammenlikne hvordan energi blir omdannet gjennom fotosyntesen og celleånding, og vurdere hvilken påvirkning ulike faktorer har på energiomsetning</li> </ul>



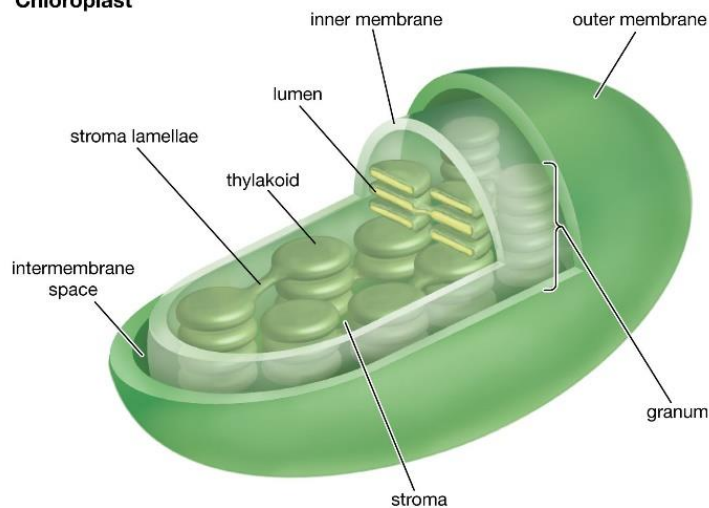
**Metabolisme** er en rekke kjemiske prosesser eller reaksjoner som omdanner energi i cellene til levende organismer. Planter tar opp lys, vann ( $H_2O$ ) og karbondioksid ( $CO_2$ ) for å produsere oksygen ( $O_2$ ) og energi (sukker i form av ATP eller adenosine triphosphate) i en metabolsk kjemisk prosess som kalles **fotosyntese**. Fotosyntese skjer i en organelle eller subenhet i planteceller som kalles kloroplaster. Kloroplaster inneholder et pigment som kalles klorofyll som er nødvendig for at planter skal kunne absorbere og fange energi fra lys. Figur 9 viser en plantecelle og strukturen for en kloroplast.

### Plant cell



© Encyclopædia Britannica, Inc.

### Chloroplast



© Encyclopædia Britannica, Inc.

*Figur 9. Celleveggen i en plantecelle (topp) og interne organeller og oppbygningen av kloroplast (bunn) (Encyclopædia Britannica; Encyclopædia Britannica).*

Det er 118 kjente grunnstoffer i det periodiske systemet. Noen av disse forekommer naturlig og er avgjørende for livet på jorda. **Makronæringsstoffer** er kjemiske stoffer som trengs i store mengder for å bidra med energi som trengs for å opprettholde vitale funksjoner for levende organismer. For dyr kan makronæringsstoffene klassifiseres som fett, proteiner og karbohydrater. **Mikronæringsstoffer** er kjemiske stoffer som levende organismer trenger mindre mengder av for normal vekst og utvikling.

De viktigste næringsstoffene for plantevekst, -helse og -utvikling og deres spesifikke funksjon inkluderer følgende (Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019):

- Karbon (C), hydrogen (H) og oksygen (O) finnes i luft og vann.
- Nitrogen (N) produserer aminosyre, proteiner, enzymer og klorofyll i planter. Det er nødvendig for fotosyntese, cellevekst og metabolske prosesser. Nitrogen brukes til gjødsling som nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).
- Fosfor (P) stimulerer rotutvikling, rask vekst av knopper og mengden av blomster gjennom dannelse av høyenergibindinger (ATP) som trengs til plantemetabolisme. Det er avgjørende for fotosyntese samt for dannelse av oljer og sukker. Det er også viktig for at kimplanter skal spire og utvikle røttene sine. Fosfor er nyttbart for planter som hydrogenfosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) og dihydrogenfosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ).
- Kalium (K) er nødvendig for celledeling og celleutvidelse, proteinsyntese, enzymaktivering og fotosyntese. Det overfører også andre stoffer og karbohydrater gjennom cellemembran.
- Kalsium (Ca) er viktig for dannelse av cellevegger, membranpermeabilitet, celledeling og celleutvidelse.
- Planter har behov for svovel (S) i omtrent samme mengde som fosfor. Svovel brukes til gjødsling som sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- Magnesium (Mg) brukes til oppbygning av klorofyllmolekyler. Uten magnesium kan klorofyll ikke fange opp solenergi til fotosyntesen.

Mikronæringsstoffer i planter, eller sporstoffer, består av jern (Fe), klor (Cl), mangan (Mn), bor (B), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni). For mye natrium (Na) kan være skadelig for planter og forstyrre absorpsjon av andre ioner (Maucieri et al., 2019). Tilførselskilde for makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer samt symptomer på overskudd eller underskudd av næring for planter i akvaponisystemer er nærmere forklart i Tabell 11.

*Tabell 11. Tilførselskilde for makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer og symptomer på overskudd og underskudd av næring for planter i akvaponisystemer (tilpasset fra Eck et al., 2019; Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019; Somerville et al., 2014).*

Næringsstoff	Kjemisk symbol	Tilførselskilde	Overskudd	Underskudd
<b>Makronæringsstoffer</b>				
Nitrogen	N	Fiskefôr, fiskeekskreter, mikroorganismers evne til å oppta oksygen	Gulning langs bladkantene. For mye vegetativ vekst, lengre vekstsesong, mørkegrønne blader, lav fruktutvikling, høyt vanninnhold i vev	Lys grønn farge eller gulning av eldre blader, tynne stilker, redusert vekst og fremskreden skade
Fosfor	P	Fiskefôr (nedbør av pH med høyere pH)	Algevekst i vannet i hydroponisystemer. Kan redusere eller blokkere opptak av andre næringsstoffer (for eksempel kobber, kalium, jern, sink)	Dårlig rotutvikling som fører til at eldre blader får en matt grønn-lilla farge, ofte etter gulning, og bladtuppene er brune
Kalium	K	Fiskefôr, tilsatte buffere for regulering av pH	Vanskelig å legge merke til fysiske symptomer, kan føre til	Brune merker på eldre blader og dårlig plantevitalitet og saftspenning, gulning

Næringsstoff	Kjemisk symbol	Tilførselskilde	Overskudd	Underskudd
			mangel på Mg og noen ganger mangan, sink eller jern	mellom bladstrenger på kantene, utsatt for plutselig temperaturfall, vannstress og soppangrep
Kalsium	Ca	Springvann	Kan forstyrre opptaket av andre næringsstoffer	Dårlig plantevekst, yngre blader kan være forvrent med krummede tupper og irregulære former, lys grønn eller noen ganger gul fargedannelse på nytt vev og dårlig utviklet rotsystem uten fine røtter. Kan vise seg forskjellig på ulike arter
Svovel	S	Springvann	Redusert vekst og bladstørrelse. Noen ganger gulning mellom bladnervene eller brune flekker på blader	Mangler er sjeldne, og fysiske symptomer er vanskelig å legge merke til, forveksles ofte med mangel på nitrogen Lys grønn eller gul farge på yngre blader før de faller av
Magnesium	Mg	Springvann	Kan forstyrre opptaket av andre næringsstoffer	Gulning mellom bladnerv og på tuppene
<b>Mikronæringsstoffer</b>				
Jern	Fe	Fiskefôr	Ikke ofte åpenbart under naturlige forhold, tegn på rødfarge i vannet	Bleke blader og gulning mellom bladnerv fra yngre til eldre blader, redusert vekst av rotsystem, bladtap
Klor	Cl	Springvann	Plantekrumping, brune bladkanter, bronsefarging, gulning	Sjeldent: visning og tørre bladkanter
Mangan	Mn	Fiskefôr	Noen ganger bleke blader og vekstreduksjon	Lignende jern og magnesium utenom lett innsunkne områder i området mellom bladnerv, redusert vekst og matt gråfarge
Bor	B	Springvann	Gulning av bladtupper etterfulgt av forringelse på bladkanter, uensartede symptomer	Ufullstendig knopp- og blomstutvikling, vekststans. Nye mørkegrønne strukturer, tykke unge blader med en læraktig konsistens.
Sink	Zn	Fiskefôr	Intensivering av jernsymptomer og giftig for fisk	Forekommer sjeldent, men kan merkes som dårlig plantevekst og vitalitet. Kan forveksles med andre mangler

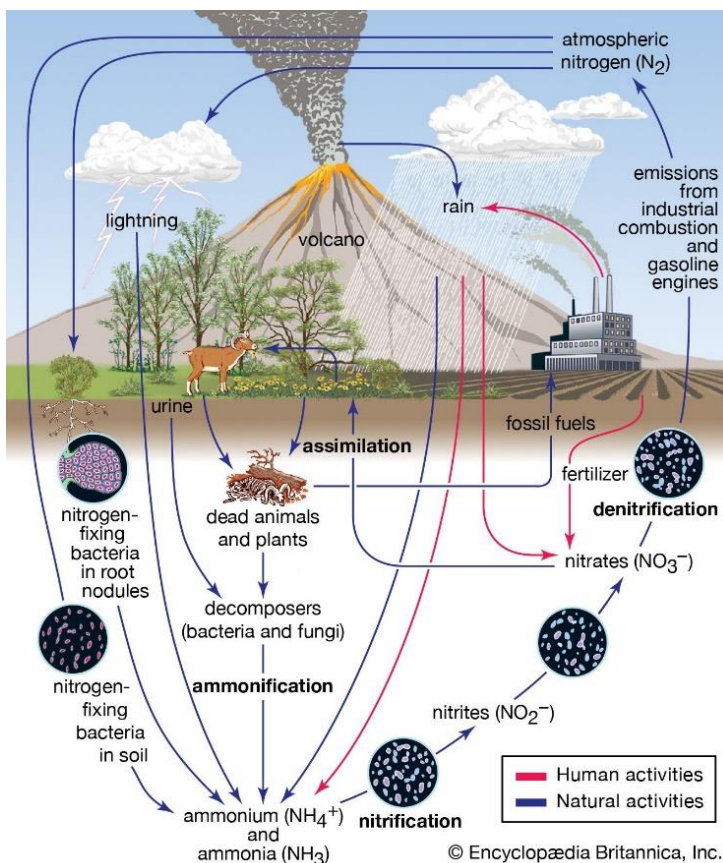
Næringsstoff	Kjemisk symbol	Tilførselskilde	Overskudd	Underskudd
Kobber	Cu	Springvann	Forstyrrer opptak av jern og mangan. Redusert plantevekst	Fordypninger i unge blader. Bleke blader og brune eller oransje bladtupper. Redusert fruktvekst. Viser noen ganger som unormal mørkegrønn vekst
Nikkel	Ni	Springvann	Bleke blader, forringing og visning	Brune og bleke blader eller gulning

Ved matproduksjon eller dyrking uten jord er det spesielt viktig med løsninger som tilfører næringsstoffer som gir energi og opprettholder grunnleggende funksjoner samt normal vekst og utvikling av levende organismer. Tabell 12 viser anbefalt konsentrasjon av næringsstoffer for salat i milligram/liter.

Tabell 12. Anbefalt konsentrasjon (milligram/liter) av næringsstoff for salat (Hess-Erga et al., 2018). Merk at disse konsentrasjonene gjelder kommersielle næringløsninger, og konsentrasjonene er mye lavere i akvaponi.

Næringsstoff (mg/l)													
	N	P	K	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Cl
Salat	200	40	200	64*	150	35	3,0	1,0	0,3	0,1	0,3	0,1	<75

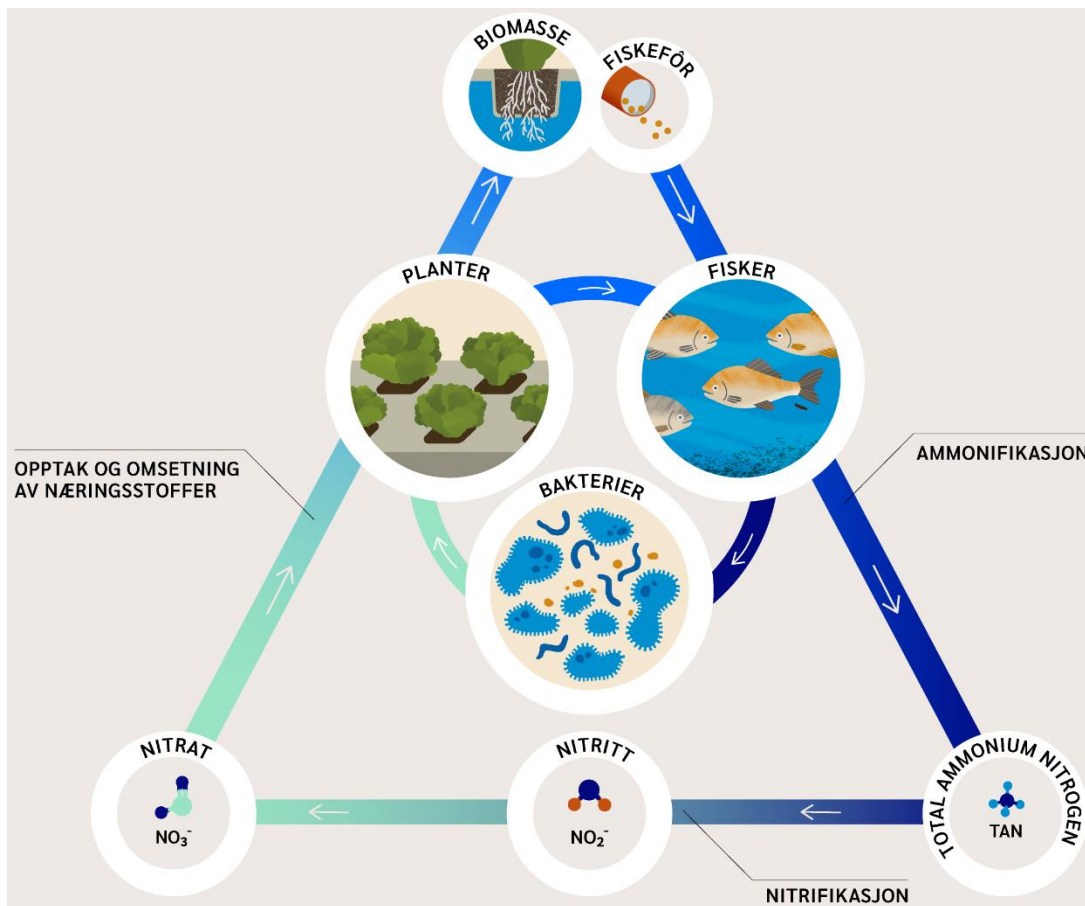
\*anbefalt verdi av svovel



Nitrogen er et nødvendig grunnstoff for alle levende organismer og utgjør 78 prosent av jordens atmosfære som atmosfærisk nitrogen (N<sub>2</sub>). En prosess som kalles nitrogenbinding omdanner nitrogen (N<sub>2</sub>) til ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) og ammoniakk (NH<sub>3</sub>), og en prosess som kalles nitrifikasjon omdanner disse ubrukelige formene til nitritt (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) og deretter til nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) slik at plantene skal ha tilgang til nitrogen. Figur 10 viser nitrogensyklusen i det naturlige miljøet.

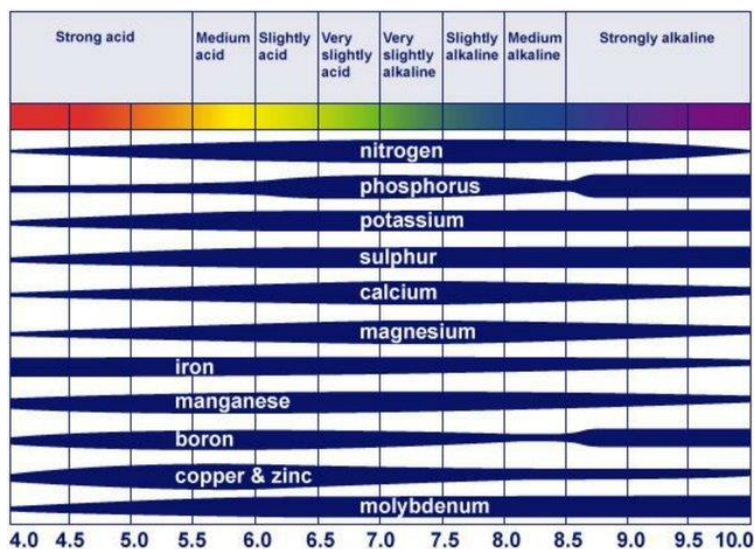
I akvaponianlegg produserer fisken ammoniakk (NH<sub>3</sub>) i sine ekskretter eller avfallsprodukter, og nitrifikasjonsbakterier omdanner de til nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) som plantene kan bruke til å vokse. Figur 11 viser nitrogensyklusen i akvaponi.

Figur 10. Nitrogensyklusen (Encyclopædia Britannica).



Figur 11. Nitrogensyklusen i akvaponi (illustrert av AVIA Produksjon, 2024 og tilpasset fra Goddek et al., 2015; Junge et al., 2020).







Hvilke næringsstoffer som er tilgjengelige for plantene, kommer an på pH-verdien eller surhetsgraden i vannet (se Figur 12). Løsninger med pH under 7 er sure. Løsninger med pH på 7 er nøytrale, mens løsninger med pH over 7 er alkaliske eller basiske. Den viktigste mekanismen for at planter skal få næring, er absorpsjon gjennom plantens røtter. Absorpsjon av næringsstoffer finner sted i ionisk form etter en reaksjon med salter oppløst i en næringsmiddelløsning (Maucieri et al., 2019).





Figur 12. Effekten av pH på tilgjengelighet av næringsstoffer (Roques et al., 2013).



Tabell 13. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til plantevekst, -helse og -utvikling.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne de viktigste delene i en plantecelle og identifisere forbindelsene mellom cellestruktur og funksjon samt strukturene som gjør at planter kan utføre fotosyntese.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne de viktigste anatomiske trekkene til planter ved å observere en plante som vokser i den hydroponiske delen av et akvaponisystem som et eksempel eller fra internett. Bruke nettressurser til å merke plantens grunnleggende strukturer. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hvilke faktorer har innvirkning på størrelsen på planter i et akvaponisystem?</li> <li>Hva er begrensningene og restriksjonene for plantevekst og -helse i akvaponisystemer?</li> <li>Hvilke forbindelser er det mellom cellestruktur og -funksjon? Hvordan danner cellemembran grunnlaget for kommunikasjon mellom celler?</li> <li>Hvilken innvirkning har fiskefôr på planteproduksjonen? <i>Fiskefôr er den viktigste kilden til nitrogen (Junge et al., 2020).</i></li> <li>Hva er likhetene og ulikhetene mellom nitrogensyklusen i miljøet og et akvaponisystem?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observere og samle inn data om plantevekst og -helse ved hjelp av de tilgjengelige malene i «Vedlegg» av denne KMS-en. Bruke disse dataene til å utarbeide rapporter med visuelle elementer og tabeller. Levere rapporter til neste skoleår inkludert skjema med registrerte data og refleksjoner.</li> <li>Velge minst to ulike plantearter som skal dyrkes i akvaponisystemet, og sammenligne observasjoner og data gjennom hele semesteret ved hjelp av de tilgjengelige malene i «Vedlegg» av denne KMS-en. Skrive 500 ord om hvilke konklusjoner som ble gjort etter vurdering av observasjonene og dataene som ble samlet inn. Notere hvilke arter som vokser bra og hvilke som produserte mindre.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utarbeide en plan for håndtering av restavfall fra planteproduksjon, og innføre denne strategien i drift, tilsyn og vedlikehold av akvaponisystemet.</li> <li>Dyrke samme plante(r) i ulike typer substrat som beskrevet i «Introduksjon til akvaponi», og registrere eventuelle likheter og ulikheter.</li> <li>Høste planter som er dyrket i akvaponisystemet, og sammenligne lignende produkter fra en lokal matvarebutikk som del av en undersøkelse med klassekamerater, fagfeller og/eller familiemedlemmer.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bruke nettressurser til å søke etter eksempler på næringsstoffmangel for alle makronæringsstoffer i planter, og merke dem med artstype, næringsforstyrrelse og symptomer (Junge et al., 2020). Skrive en oppsummering på 500 ord med symptomene på de vanligste plantesykdommene og hvordan disse spres. Vurdere tiltak som kan forebygge sykdom og infeksjon. Oppgi kilder.</li> <li>Bruke nettressurser til å søke etter plantesorter som kan egne seg hydroponidelen av akvaponisystemet. Notere seg hvilke arter som trives bedre eller verre når de dyrkes sammen. Skrive minst 500 ord om hvorfor disse plantesortene ble valgt, inkludert eventuelle fordeler og ulemper. Oppgi kilder. <u>Tilleggsaktivitet:</u> Tabell 12 viser anbefalt konsentrasjon av næringsstoffer for salat. Bruke nettressurser til å søke etter næringsløsninger for andre plantesorter.</li> </ul>

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til plantevekst, -helse og -utvikling, laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velge et tema av interesse, og skrive 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utføre en støkiometrisk beregning basert på en balansert ligning for fotosyntese. <math>O_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2</math>.</li> <li>Vurdere ulike scenarier der et akvaponisystem har lavt eller høyt innhold av makronæringsstoffer, mikronæringsstoffer eller pH. Identifisere mulige årsaker ved å forklare hvorfor det er høyt eller lavt innhold av næringsstoffer og hva som kan skje med plantene, og foreslå en utbedringsplan.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Søke i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li> </ul>



## 5.3 Dyrevelferd

Produksjon av akvatiske organismer, eller *akvakultur*, er en viktig del av akvaponi. Modulen om dyrevelferd er derfor relevant for undervisning og læring om akvaponisystemer. Tabell 14 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om dyrevelferd. Tabell 19 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til dyrevelferd.

Tabell 14. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisning- og læringsmodulen om dyrevelferd.

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stille dyr eller fisk med respekt for etiske retningslinjer og kunnskaper om dyrevelferd, dyrehelse og artenes biologi</li> <li>• klassifisere og presentere et utvalg av arter og materialer og velge materialer ut fra arbeidsoppdrag og materialenes egenskaper</li> <li>• følge bruksanvisning og bruke manual for utstyr som benyttes i produksjonen, og foreta enkelt ettersyn, vedlikehold og enkle reparasjoner</li> <li>• foreta enkle beregninger av råvare- og materialforbruk, innsatsfaktorer og utbytte</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>• risikovurdere egne forsøk og håndtere avfallet fra disse på en forsvarlig måte</li> <li>• utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> <li>• gjøre rede for hvorfor noen grunnstoffer er viktige for liv, og vurdere hvordan menneskelig aktivitet kan påvirke kretsløpene til disse stoffene</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>• skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>• utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
<b>VG2</b>			

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
Landbruk og gartneri	LGA02-03	<a href="#">Produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>planlegge, gjennomføre, vurdere og dokumentere arbeidsoppgaver innenfor landbruk og gartneri ut fra produksjonenes egenart, organismenes biologi, behov for stell, og gjeldende regelverk</li> <li>gjøre rede for symptomene til de vanligste dyre- og plantesykdommer og hvordan disse spres, og vurdere tiltak som kan forebygge sykdom og smitte</li> </ul>
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>planlegge og gjennomføre forsøk, estimere usikkerhet og vurdere feilkilder, presentere resultater og argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner</li> <li>bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner</li> <li>gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>planlegge og gjennomføre undersøkelser, samle, behandle og tolke data, og presentere resultat og funn</li> <li>utforske sammenhenger mellom anatomi og fysiologi og gjøre rede for prinsippene for livsprosessene i organismer</li> <li>gjøre rede for hvordan virale og mikrobielle sykdommer oppstår, sprer seg og blir nedkjempet</li> <li>utforske abiotiske og biotiske faktorer i et økosystem, drøfte sammenhenger som forklarer det biologiske mangfoldet og reflekter over naturens egenverdi</li> </ul>
<b>VG3</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>forstå og bruke kjemisk terminologi og fagspråk i faglig kommunikasjon</li> <li>planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk</li> <li>utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en biologisk problemstilling, analysere innsamlede data, argumentere for valg av metoder og drøfte resultat og funn</li> <li>utforske faktorer som regulerer populasjoners vekst og størrelse, og diskutere interessekonflikter knyttet til populasjonsforvaltning</li> <li>drøfte hvordan menneskelig aktivitet påvirker kretsløpene, og utforske tiltak for å ivareta dem</li> </ul>

Fisk er en variert gruppe kaldblodige virveldyr. Det betyr at fiskens kroppstemperatur varierer med temperaturen i vannet. Mange arter, men ikke alle, har svømmeblære som opprettholder oppdrift i vannet og gjeller som gjør at de kan ta opp oksygen og skille ut karbondioksid og metabolske

avfallsstoffer (Somerville et al., 2014). Fiskens eksterne anatomiske hovedtrekk består av øyne, fiskeskjell, munn og kjeve, gjellelokk, gjeller og finner.

Natur vgs. har valgt fiskearten koi til sitt akvaponisystem. Arten er hovedsakelig en prydfisk som er kjent verden over for sine vakre fargemønstre. De holdes som kjæledyr og oppbevares innendørs og i ferskvannsdammer utendørs. Det vitenskapelige navnet for koi er *Cyprinus carpio* (også kjent som prydkarpe, koi karpe, nishikigoi eller Amurkarpe). De er robuste og kraftige fisk. En fullvoksen fisk blir 90 cm lang og veier i gjennomsnitt 16 kg (Encyclopædia Britannica). De er tilpasningsdyktige altetende kaldtvannsfisk som lever av insekter, krepsdyr og andre virvelløse dyr samt alge og vegetasjon (Encyclopædia Britannica). I Tabell 15 er det en oversikt over fiskearter som er vanlig i akvaponianlegg.

*Tabell 15. Fiskearter som er vanlig i akvaponianlegg (Junge et al., 2020). De vanligste artene for norske forhold er koi, ørret og abbor. Regnbueørret (Oncorhynchus mykiss) brukes ofte i akvakultur, mens brunørret (Salmo trutta) er mest vanlig i Norge.*

Alminnelig navn	Art	Slekt	Orden
Tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>	Cichlidae	Cichliformes
Steinbit	<i>Pangasius pangasius</i>	Pangasiidae	Siluriformes
Koi	<i>Cyprinus carpio</i>	Cyprinidae	Cypriniformes
Ørret	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Salmonidae	Salmoniformes
Bass	<i>Morone saxatilis</i>	Moronidae	Perciformes
Abbor	<i>Sander lucioperca</i>	Percidae	Perciformes
Blågjellet solabbor	<i>Lepomis macrochirus</i>	Centrarchidae	Perciformes

Den viktigste indikatoren på fiskevelferd er fiskens atferd før, under og etter føring da den utviser følgende atferdsmønstre (Somerville et al., 2014):

- utstrakte finner og rett hale
- svømmer i vanlig mønster
- god appetitt (viktig å legge merke til hvor mye fôr den spiser innen et visst tidsrom)
- ingen merker, misfargede flekker, streker eller linjer
- ingen gnidning eller skraping langs sidene på tanken
- puster ikke inn luft fra overflaten
- klare og skinnende øyne

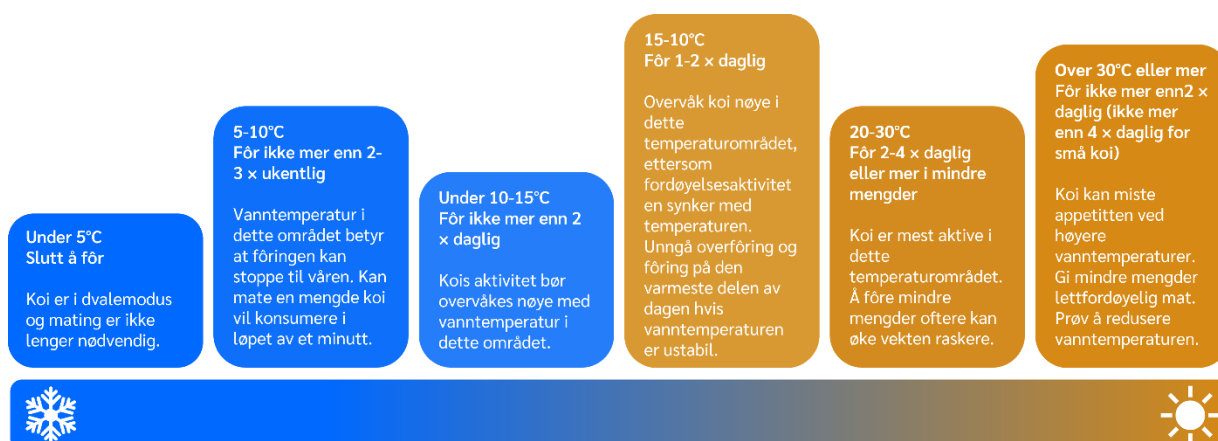
Tabell 16 viser mulige risikoer for akvatiske dyrs helse i akvaponianlegg i henhold til ulike faktorer: **abiotisk** (ikke-levende og uorganisk), **biotisk** (levende og organisk), føring, forvaltning, velferd og sykdommer.

*Tabell 16. Liste over mulige risikoer for akvatiske dyrs helse i akvaponianlegg (Yavuzcan Yildiz et al., 2019).*

	Identifikasjon av risiko	Spesifikasjon av risiko
<b>Abiotisk</b>	pH	For høy / for lav / rask endring
	Vanntemperatur	For høy / for lav / rask endring
	Suspendert stoff	For høy
	Innhold oppløst oksygen	For lav
	Karbondioksidinnhold	For høy
	Ammoniakkinnhold	For høy, pH-avhengig
	Nitritinnhold	For høy
	Nitratinnhold	Ekstremt høy
	Metallinnhold	For høy, pH-avhengig
<b>Biotisk</b>	Dyretetthet	For høy / for lav
	Begroing	
<b>Føring</b>	Næringsstoffer per fiskeart	Overskudd/underskudd

	Identifikasjon av risiko	Spesifikasjon av risiko
	Føringshyppighet	Utilstrekkelig/upassende føring
	Giftstoffer i fôr	
	Tilsetningsstoffer i fôr	Uegnede vekstfremmende middel
Forvaltning	Design av akvaponisystem	Dårlig systemdesign
	Fiskearter	Uegnede for akvaponi
	Driftsproblemer (vannsirkulasjon, biofilter, mekaniske)	
	Bruk av kjemoterapeutika	Risiko for forstyrrelser i mikrobiell balanse
	Personellhygiene	
	Biosikkerhet	
Velferd	Stressfaktorer	For høy
	Allostatisk belastning	Høy
	Oppdrettsforhold	Suboptimal
Sykdommer	Ernærings sykdommer	
	Miljøsykdommer	
	Infeksjonssykdommer	

Det må være god balanse mellom **biomasse** eller total mengde eller vekt av organismer i et gitt område eller volum av fiskene, størrelse på biofilter og total plantemengde. Det er viktig for å ikke overskride kapasiteten til *resirkulerende akvakultur systemets (RAS)* biofilter og for å unngå dannelse av giftstoffer (Somerville et al., 2014). Det er vanlig å veie og måle all fisk ved mottak og så med jevne mellomrom, og deretter bruke opplysningene til å beregne hvor mye fiskefôr som skal gis. Det er også vanlig å bruke fôrtabeller som angir hvor mye vekst som forventes når det gis en bestemt mengde fôr per dag. Det finnes mye informasjon om anbefalt fiskefôr. Det anbefales derfor å spørre leverandøren av akvatiske organismer om nærmere informasjon om type og mengde fôr. Som hovedregel bør fôrmengden kontrolleres slik at det ikke blir matrester umiddelbart etter føringsperioden. Figur 13 viser et eksempel på en fôrtabell som også viser vanntemperaturen.



Figur 13. Fôrtabell for koi diktert av vanntemperatur (tilpasset fra Hikari, 2023). Det bør alltid tas nøye hensyn til miljøforholdene og nivået på fiskeaktiviteten. Merk at denne figuren kommer fra en leverandør av fiskefôr.

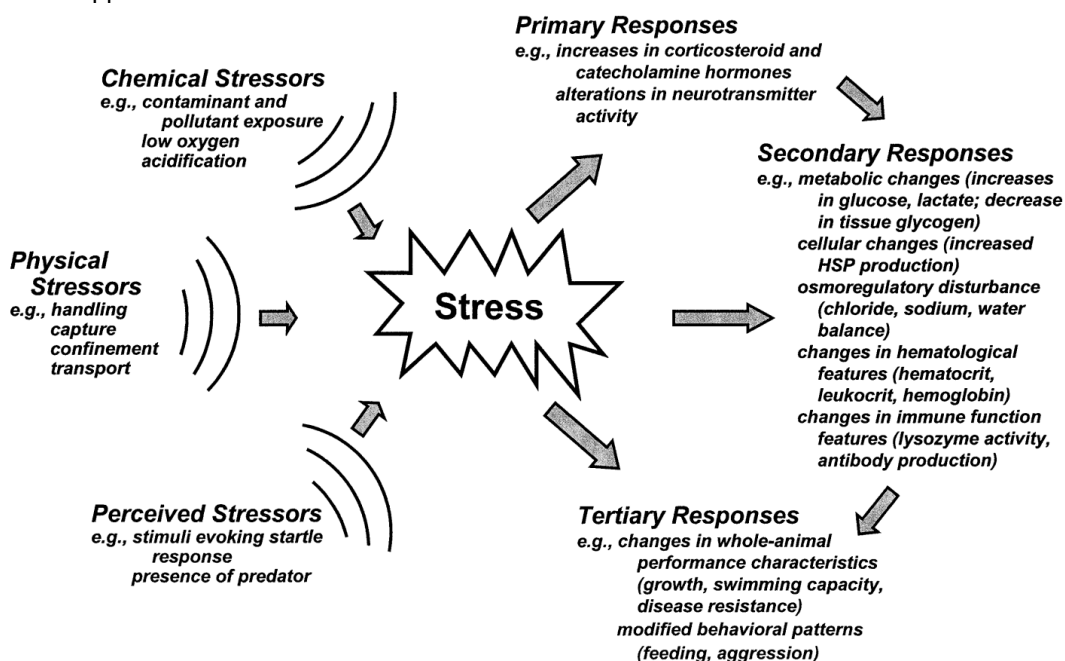
Beregning av fiskebiomasse kan gjøres ved hjelp av et garn, en badevekt, et stort kar med vann fra fisketanken(e) og en bærbar oksygenator for å sikre at fisken ikke mangler oksygen og kveles. Fremgangsmåten for å beregne biomasse går ut på å veie karet med vann og oksygenatoren på vekta fôr

og etter, og deretter tilsette fisken forsiktig. Når en tilsetter fisken, er det viktig å unngå at den slås mot kanten av tanken(e) da det kan føre til skader eller død. Tabell 17 viser sammenhengen mellom **dyretetthet** og antall individer på et visst område sammen med fiskebiomassen.

Tabell 17. Dyretetthetsdefinisjoner (Junge et al., 2020).

Individtetthet		Biomassetetthet	
per overflate (#/m <sup>2</sup> )	per volum (#/m <sup>3</sup> )	per overflate (kg/m <sup>2</sup> )	per volum (kg/m <sup>3</sup> )
Uavhengig av tank dybde. Relevant for bunnlevende fisk	Er ofte høyt for små fisk selv om biomassetettheten er høyere	Uavhengig av tank dybde. Relevant for bunnlevende fisk. Er ofte høyere for større fisk enn for mindre arter	Relevant for frittsvømmende arter

I Europa er det ingen bestemte minstekrav for levetilstand for fisk på grunn av mangel på kunnskap om fiskevelferd, selv om [rådsdirektiv 98/58/EF](#) gjelder for alle dyr som holdes for landbruksformål, og inneholder minstekrav om tilfredsstillende dyrevelferd for virveldyr (Junge et al., 2020). Det er likevel generell enighet i Europa om at fisk utsettes for **stress** eller trykk, belastning eller spenning hvis oksygennivået i vannet er for lavt, og når de tas ut av vannet, og om at immunsystemet til fisk påvirkes når den utsettes for kronisk stress, noe som igjen gjør at den blir mer utsatt for sykdommer (Junge et al., 2020). Dette er en av mange grunner til at en ved vannbehandling i resirkulerende akvakultur systemer (RAS) må fjerne avfallsprodukter og overflødig fôr kontinuerlig for å unngå oppbygning av organisk materiale som kan være skadelig for fisk (Fjellheim et al., 2017). Stress er en fysiologisk respons hos fisk når de lever under mindre optimale forhold, for eksempel ved for mange fisk i anlegget, feil temperatur og/eller pH samt inkonsekvent fôring. Det kan føre til at fiskens immunforsvar svekkes, og at den blir mer utsatt for sykdommer (Somerville et al., 2014). Se Figur 14 for noen eksempler på fysiske, kjemiske og andre opplevde stressfaktorer hos fisk.



Figur 14. Fysiske, kjemiske og andre oppfattede stressfaktorer påvirker fisk og fremkaller fysiologiske og lignende effekter. Disse deles inn i primære, sekundære og tertiære responser som påvirker hele dyret. I noen tilfeller kan primære og sekundære responser igjen ha direkte effekt på henholdsvis sekundære og tertiære responser, som pilene viser. (Barton, 2002).

I 2016 ble dyrehelseforordningen ([EU 2016/429](#)) vedtatt for forebygging og bekjempelse av smittsom sykdom som kan overføres til andre dyr eller mennesker. Forordningen trådte i kraft i 2021, og Norge reviderte sin lov om dyrehelse og innførte nye forskrifter om dyrehelse i 2022 (Mattilsynet, 2022). I Tabell 18 er det lenker til alle lover og forskrifter som gjelder for akvakultur og dyrevelferd i Norge. Fiskeridirektoratet har fastslått at Natur vgs.' småskala urbane pilotinstallasjon (SUPI) ikke er akvakultur ettersom SUPI-anlegget står på privat grunn og ikke vil ha negativ innvirkning på miljøet rundt, samt at naturen, omfanget og varigheten av de planlagte aktivitetene er av midlertidig karakter og er akseptable, forutsatt at ansvarlig driftspersonell får tilstrekkelig opplæring.






Tabell 18. Sentrale lover og forskrifter til akvakultur og dyrevelferd.





År	Departement	Tittel på lov eller forskrift (innebygd lenke til Lovdata på norsk)
2022	Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om dyrehelse (dyrehelseforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om melding, rapportering, overvåking, utryddelsesprogram og sykdomsfri status for bestemte dyresykdommer (dyrehelseovervåkningsforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om forebygging og bekjempelse av smittsomme dyresykdommer (dyresykdomsbekjempelsesforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om landdyranlegg og rugerier og sporbarhet av landdyr og rugeegg (landdyrsporbarhetsforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om forflytning av landdyr, rugeegg og animalske produkter fra landdyr i EØS-området (landdyrforflytningsforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om avlsmateriale fra holdte landdyr (avlsmaterialeforskriften)</a>
2022	Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om krav til biosikkerhet ved godkjenning av akvakulturanlegg og forflytninger av akvatiske dyr mv. (akvabiosikkerhetsforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift som utfyller dyrehelseforskriften med bestemmelser om import av visse levende dyr, avlsmateriale og animalske produkter fra tredjestater (dyreimportforskriften)</a>
2022	Landbruks- og matdepartementet	<a href="#">Forskrift om midlertidige bekjempelses- og nødtiltak for å hindre spredning av nærmere angitte dyresykdommer i og til EØS (dyresykdomsnødtiltaksforskriften)</a>
2022	Helse- og omsorgsdepartementet Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om helsesertifikater – landdyr og avlsmateriale derav – forordning (EU) 2021/403 (landdyrhelsesertifikatforskriften)</a>
2022	Helse- og omsorgsdepartementet Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om helsesertifikater – næringsmidler og dyr – forordning (EU) 2020/2235 (mathelsesertifikatforskriften)</a>



År	Departement	Tittel på lov eller forskrift (innebygd lenke til Lovdata på norsk)
2022	Helse- og omsorgsdepartementet Landbruks- og matdepartementet Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om helsesertifikater – akvatiske dyr og visse animalske produkter derav – forordning (EU) 2020/2236 (akvakulturhelsesertifikatforskriften)</a>
2008	Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m.</a>
2008	Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften)</a>
2005	Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Lov om akvakultur (akvakulturloven)</a>
2004	Nærings- og fiskeridepartementet	<a href="#">Forskrift om internkontroll for å oppfylle akvakulturlovgivningen (IK-Akvakultur)</a>
2003	Helse- og omsorgsdepartementet	<a href="#">Lov om matproduksjon og mattrygghet mv. (matloven)</a>
1981	Klima- og miljødepartementet	<a href="#">Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven)</a>

Tabell 19. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til dyrevelferd.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne de viktigste eksterne anatomiske hovedtrekkene hos fisk. Identifisere fysiologien som gjør at fisken kan puste.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne de viktigste anatomiske trekkene til fisk ved å observere en fisk som vokser i akvakulturdelen av et akvaponisystem som et eksempel, eller fra internett. Bruke nettressurser til å finne bilder av fisk fra tegneserier, filmer eller andre medier og bemerke eventuelle anatomiske aspekter som er feil eller overdrevet (Junge et al., 2020).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bør fisk anses som likeverdig med andre dyr når det gjelder dyrevelferd?</li> <li>Hvordan vil en biolog, kjemiker og teknolog definere henholdsvis begrepet <i>biomasse</i>?</li> <li>Hvordan kan det være alminnelig enighet i Europa om at fisk opplever stress og generell mangel på kunnskap om fiskevelferd?</li> <li>I Europa er det for tiden ingen bestemte minstekrav for fiskevelferd. Bør slike krav innføres?</li> <li>Hvilke faktorer har innvirkning på størrelsen på fisk i et akvaponisystem?</li> <li>Nevne noen eksempler på potensielle stressfaktorer for fisk i et akvaponisystem.</li> <li>Beskrive de sosiale, etiske og miljømessige implikasjonene knyttet til dyrevelferd innen akvaponi.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observere og samle inn data om fisk ved hjelp av de tilgjengelige malene i «Vedlegg» av denne KMS-en. Bruke disse dataene til å utarbeide rapporter med visuelle elementer og tabeller. Levere rapporter til neste skoleår inkludert skjema med registrerte data og refleksjoner.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bruke nettressurser til å søke etter mer informasjon om fiskens livsløp. Bruke denne informasjonen til å lære mer om fiskens metabolisme, og skrive minst 500 ord om funnene. Oppgi kilder.</li> <li>Bruke nettressurser til å søke etter fiskearter som kan være egnet for oppdrett i et akvaponisystem. Skrive minst 500 ord om hvorfor disse fiskeartene ble valgt, inkludert eventuelle fordeler og ulemper. Oppgi kilder.</li> <li>Begrepet <i>biomasse</i> er definert som total mengde eller vekt av organismer i et gitt område eller volum i denne modulen. Sammenlign denne</li> </ul>

Læringstype	Aktivitet
	<p>definisjonen med definisjonen i modulen «Økonomi- og forretningsdrift» og bruk nettbaserte kilder for å utforske hvordan kommunikasjon er forskjellig på tvers av disipliner. Skriv 250 ord og oppgi referanser.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruke netressurser til å søke etter eksempler på fiskesykdommer, og beskrive symptomer og hvordan de spres. Oppsummere symptomene på de vanligste fiskesykdommene og hvordan de spres. Vurdere tiltak som kan forebygge sykdom og infeksjon. Oppgi kilder.</li> <li>• Velge én av de sentrale lovene eller forskriftene om akvakultur og dyrevelferd i Tabell 18, og bruke netressurser til å skrive 500 ord om hvordan loven eller forskriften kan være relevant for akvaponi. Oppgi kilder.</li> <li>• Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til dyrevelferd, laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velge et tema av interesse, og skrive 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utarbeide en plan for håndtering av restavfall fra fiskeproduksjon, og innføre denne strategien i drift, tilsyn og vedlikehold av akvaponisystemet.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beregne biomassen til fisk i et akvaponisystem når de tilføres systemet og deretter ved jevne mellomrom (for eksempel hver måned).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Husk å bruke fremgangsmåten for beregning av biomasse. Beregne biomassen for 30 fisker, der hver fisk veier omtrent 0,10 g, i et kar med vann som veier omtrent 40 kg.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Søke i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li> </ul>



## 5.4 Vannkjemi og -kvalitet

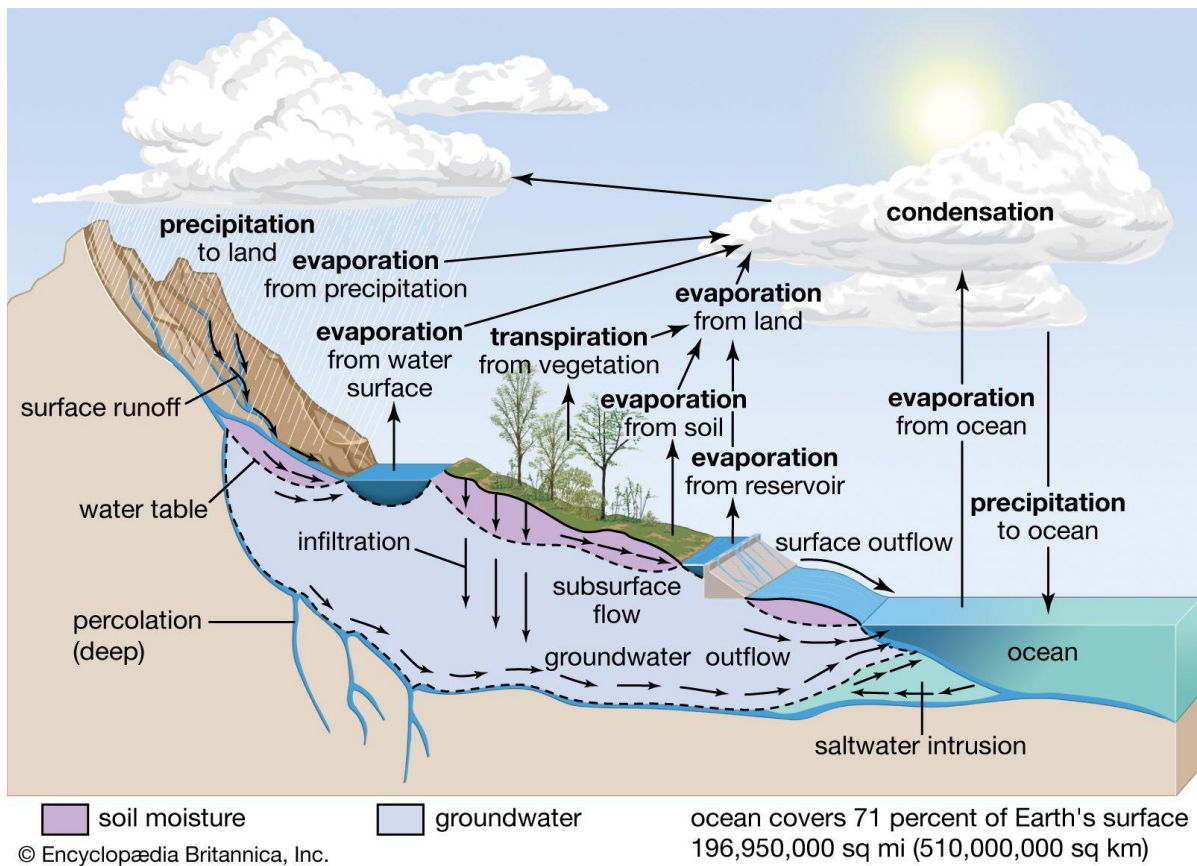
Denne modulen om vannkjemi og -kvalitet er viktig for undervisning og læring om akvaponisystemer for å sikre riktig drift og tilsyn av systemet og for å opprettholde den komplekse balansen mellom planter og fisk. Tabell 20 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om vannkjemi og -kvalitet. Tabell 24 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til vannkjemi og -kvalitet.

Tabell 20. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisning- og læringsmodulen om vannkjemi og -kvalitet.

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stille planter basert på kunnskaper om artenes biologi og kretsløpene i nature</li> <li>• stille dyr eller fisk med respekt for etiske retningslinjer og kunnskaper om dyrevelferd, dyrehelse og artenes biologi</li> <li>• følge bruksanvisning og bruke manual for utstyr som benyttes i produksjonen, og foreta enkelt ettersyn, vedlikehold og enkle reparasjoner</li> <li>• foreta enkle beregninger av råvare- og materialforbruk, innsatsfaktorer og utbytte</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>• risikovurdere egne forsøk og håndtere avfallet fra disse på en forsvarlig måte</li> <li>• utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> <li>• gjøre rede for hvorfor noen grunnstoffer er viktige for liv, og vurdere hvordan menneskelig aktivitet kan påvirke kretsløpene til disse stoffene</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>• skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>• utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
<b>VG2</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• planlegge og gjennomføre forsøk, estimere usikkerhet og vurdere feilkilder, presentere resultater og argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner</li> </ul>

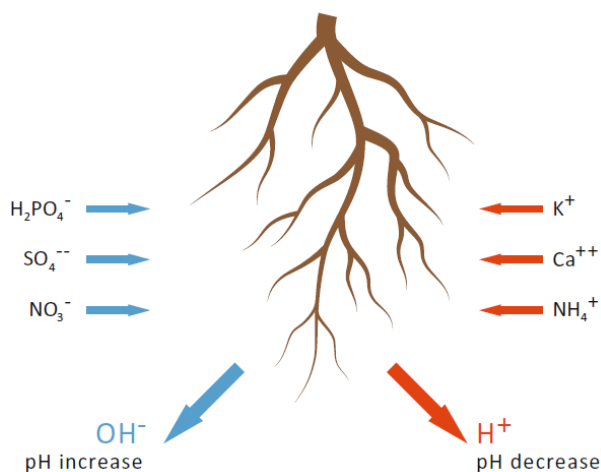
Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner</li> <li>• gjøre beregninger med ulike enheter for konsentrasjon og bruke stoffkonsentrasjon i vurderinger av vann- og luftkvalitet</li> <li>• gjøre rede for begrepene syre, base, protolyse og pH, og utforske egenskapene til sterke og svake syrer og baser</li> <li>• gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• planlegge og gjennomføre undersøkelser, samle, behandle og tolke data, og presentere resultat og funn</li> </ul>
<b>VG3</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• forstå og bruke kjemisk terminologi og fagspråk i faglig kommunikasjon</li> <li>• planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk</li> <li>• utforske og beregne pH i vannløsninger og drøfte betydningen av buffere for regulering av pH i naturlige og industrielle prosesser</li> <li>• utforske og gjøre beregninger av løseligheten til stoffer og gjøre vurderinger av løselighet i biologiske og industrielle prosesser</li> <li>• utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn</li> </ul>

**Vannets kretsløp**, også kjent som den hydrologiske syklusen, beskriver den kontinuerlige bevegelse av vannet på jorden mellom havene, atmosfæren og jordens overflate i ulike former: væske, fast form og damp (se Figur 15). I akvaponi er vannbevegelse helt nødvendig for å holde planter og fisk i live i systemet, og nytt vann må tilføres for å erstatte vann som har fordampet og blitt absorbert av plantene. I *resirkulerende akvakultur systemer (RAS)* resirkuleres vann kontinuerlig gjennom et mekanisk filter som fjerner faste stoffer. Det passerer gjennom et biofilter som omdanner ammoniumforbindelser til nitritt og nitrat, og pumpes deretter til hydroponisystemet der det blir brukt av plantene. Etter rensing går vannet tilbake til fisketanken. I et akvaponisystem går vannet gjennom RAS og sumpen slik at vannivået i fisketankene og hydroponisystemet forblir uforstyrret.



Figur 15. Hydrologisk kretslop (Encyclopædia Britannica).

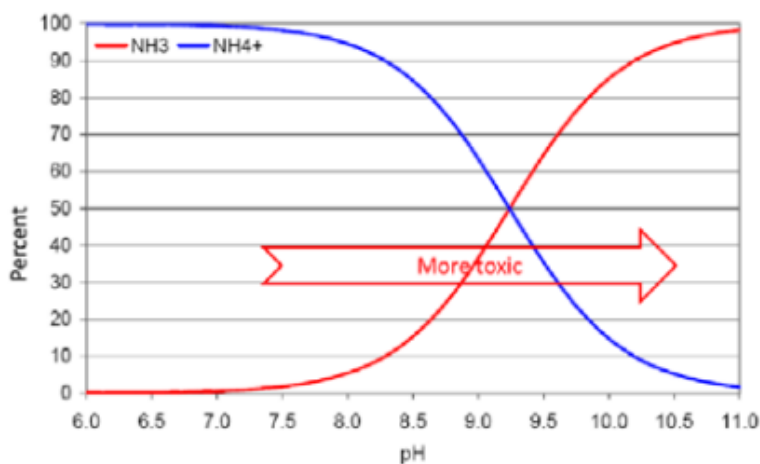
Kilden og kvaliteten på vannet som tilføres akvaponisystemer er en viktig faktor for fiskevelferd (for eksempel regnvann, springvann, overflatevann eller grunnvann). Til vandistribusjon bør en bruke syntetiske materialer som PVC og PE i rør og ventiler i stedet for materialer som inneholder nikkel (Ni) eller kobber (Cu). Slike stoffer kan være skadelige for fisk fordi tilstanden til metallene kan endre seg og fordi de ikke kan brytes ned (Maucieri et al., 2019). De fem viktigste vannkvalitetsparametere som har innvirkning på fisk, planter og bakterier, er: oppløst oksygen (DO), pH, temperatur, totalt nitrogen og vannalkalitet (Somerville et al., 2014).



Figur 16. Ionabsorpsjon av en plantes rotsystem (Maucieri et al., 2019).

For å opprettholde god kvalitet på vannet er det viktig å benytte en luftpumpe for å tilføre oksygen. Det er særlig viktig i sommeren fordi det er en forbindelse mellom vanntemperatur og oppløst oksygen. Kaldt vann kan holde på mer oksygen enn varmt vann. Det betyr at når temperaturen stiger, avtar oksygenets løselighet (Somerville et al., 2014). Som nevnt tidligere i modul «Plantevekst, -helse og -utvikling» påvirker pH i vannet plantenes evne til å ta opp makro- og mikronæringsstoffer. Termen pH er definert som konsentrasjonen av hydrogenioner ( $\text{H}^+$ ) i en løsning, der et ion er et atom eller molekyl med positiv eller negativ ladning. Høyere konsentrasjoner av  $\text{H}^+$  gjør at pH-verdien synker til under 7 som vist i Figur 16. Konsentrasjonen av hydrogenioner ( $\text{H}^+$ ) i en løsning viser om den er

sur, nøytral eller basisk. Figur 17 viser forholdet mellom ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i vann, avhengig av pH. For å justere pH-verdien kan en tilføre stoffer i akvaponisystemet for at plantene lettere



Figur 17. Forhold mellom ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i vann, avhengig av pH (Fjellheim et al., 2017).

deretter nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) før det tas opp av plantene. Høyere pH og vanntemperatur gjør ammoniakk giftigere. Den relative konsentrasjonen av ammoniakk og ammonium avhenger hovedsakelig av pH-verdien som betyr at pH-en generelt sett avgjør om en TAN-konsentrasjon er giftig eller ikke (Fjellheim et al., 2017). Se Figur 17 for forholdet mellom ammoniakk og ammonium i vann. Tabell 21 viser viktige vannkvalitetsparametere som må overvåkes for å opprettholde balansen i et akvaponisystem. Merk at nitrogenprodukter er helt nødvendig for plantevekst, og at disse tilføres akvaponisystemet via fiskefôr.

Tabell 21. Viktige vannkvalitetsparametere som må overvåkes for å opprettholde balansen i et akvaponisystem (Fjellheim et al., 2017; Somerville et al., 2014). Merk at biologiske parametere som bakterier, alge og virus også påvirker fiske- og plantehelsen og nitrifikasjon. Dette er ikke vist i tabellen.

Parameter	Måleenhet(er)	Relevans for akvaponisystem
<b>Fysisk</b>		
Vannivå	meter (m)	Beregne vannvolum i fiske- og plantesystemer
Temperatur	°C	Ekstreme temperaturer og store temperaturendringer påvirker fiske- og plantehelsen og andre parametere
Konduktivitet	(mS/cm)	Viser konsentrasjonen av ioner i vannet (større konsentrasjoner øker bufferkapasiteten)
Totalt suspendert stoff (TSS)	milligram/liter (mg/l)	Høye konsentrasjoner kan forårsake bakterievekst
<b>Kjemisk</b>		
pH	-	Avgjørende for den kjemiske tilstanden til sammensetninger og giftigheten av disse, også for fisk og planter
Alkalitet	milliekvivalenter/liter (meq/l)	pH-bufferkapasitet for vann, må tilføres/opprettholdes på riktig nivå
Oppløst oksygen (DO) Oksygen ( $\text{O}_2$ )	milligram/liter (mg/l) %	Mengde oksygen i vannet. Fisk og planter trenger relativt høye nivåer for å sikre god vekst. Nitrifikasjonsbakterier trenger oksygen for å omdanne TAN og nitritt slik at nitrogenforbindelsene kan brukes av planter.
Totalt ammoniakknitrogen (TAN) Ammoniakk ( $\text{NH}_3$ )	- milligram/liter (mg/l) totalt mikrogram/liter ( $\mu\text{g N/l}$ )	Innvirkning på fiskehelse. Summen av ammoniakk og ammonium er lik TAN. pH avgjør om TAN-konsentrasjonen er giftig for fisk (høy pH og

skal kunne ta opp næringsstoffer. Tilsetning av kjemiske stoffer som natriumbikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) eller kaliumbikarbonat ( $\text{KHCO}_3$ ) fungerer som en buffer og kan øke pH-verdien.

Nitrogen tilføres først i et akvaponisystem gjennom fiskefôret og kommer deretter inn i systemet via fiskeekskrementer i form av **totalt ammoniakknitrogen (TAN)** eller summen av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). TAN tas enten direkte opp av plantene eller omdannes til nitritt ( $\text{NO}_2^-$ ) og

Parameter	Måleenhet(er)	Relevans for akvaponisystem
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )		temperatur betyr mer ammoniakk og dermed høyere giftighet. Justeres gjennom fiskefôret.
Nitritt (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	totalt mikrogram/liter (µg N/l)	Innvirkning på fiskehelse. Akkumulasjon av nitritt er vanlig i begynnelsen ved bruk av nytt biofilter. Mengden oksygen i vannet har innvirkning på nitritt -giftighet. Justeres gjennom fiskefôret.
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	totalt mikrogram/liter (µg N/l)	Påvirker plantehelsen. Minst giftige nitrogensammensetninger.
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	milligram/liter (mg/l)	Reduserer fiskens evne til å ta opp oksygen og regulere pH

Tabell 22 viser optimale kjemikaliebehov for fisk- og planteproduksjon i akvaponisystemer, mens Tabell 23 viser anbefalte vannkvalitetsparametere spesifikt for koi fra Mattilsynet.

*Tabell 22. Vannkvalitetsparametere for fisk i landbaserte anlegg med veiledende terskelverdier og områder for akseptabel vannkvalitet fra Mattilsynet (Fjellheim et al., 2017).*

Parameter	Verdier
pH innløp	6,2-7,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100 prosent
Oksygen (avløp)	Over 80 prosent
Totalgassmetning (TGP) i karvann	Ikke over 100 prosent
Karbondioksid	Under 15 milligram/liter
Aluminium (labilt)	Under 5 mikrogram/liter
Aluminium (gjeller)	Ikke over 15 mikrogram/gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 milligram/liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 milligram/liter
Total Ammonium Nitrogen (TAN)	Under 2 milligram/liter
Ammoniakk	Under 2 mikrogram/liter

*Tabell 23. Anbefalte vannkvalitetsparameter for koi.*

Parameter	Verdi	Kommentarer
Temperatur (°C)	15-20	Lever bra ved lavere og høyere temperatur, men bør tilpasses plantearter.
pH	6,8-7,5	Justeres med K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> eller CaCO <sub>3</sub> som også tilfører viktige makronæringsstoff til plantene.
Konduktivitet (mS/cm)	1,5-2,5	-
Alkalitet (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	50-100	Justeres med K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> eller CaCO <sub>3</sub> som også tilfører viktige makronæringsstoff til plantene.
Oksygen (%)	70-100	Tilsetning av luft.
CO <sub>2</sub> (mg/l)	<15	Luftes ut, tas opp av plantene eller omdannes til CO <sub>3</sub> .
TAN (µg N/l)	<500	Omdannes i biofilteret eller tas opp av plantene.
NH <sub>3</sub> (µg N/l)	<10	Andelen er veldig avhengig av pH.
NO <sub>2</sub> (µg N/l)	<250	Omdannes i biofilteret eller tas opp av plantene.
NO <sub>3</sub> (mg N/l)	20 - 60	Tas opp av planten eller fortynnes med nytt vann.

Vannkvaliteten og mengden avfallsprodukter som produseres naturlig, vil variere etter hvor mye fôr som gis, utformingen av systemet, størrelsen på fisk, rutiner for tilsyn, rengjøring og desinfeksjon samt resirkuleringsgraden av vann (Hess-Erga et al., 2018). Det er viktig å definere resirkuleringsgraden i *resirkulerende akvakultur systemer (RAS)* ettersom kompleksiteten av RAS øker med høyere resirkuleringsgrad. Det finnes tre ulike måter å beregne resirkuleringsgraden på (Fjellheim et al., 2017):

1) Resirkuleringsgrad i %:

$\text{resirkuleringsgrad} = (\text{vannmengde til kar per time} / (\text{nytt vann per time} + \text{vannmengde til kar per time})) \times 100$



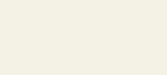



2) Utskifting per dag i %:


$\text{utsifting per dag} = (\text{tilførsel av nytt vann per dag} / \text{totalt vannvolum i anlegget}) \times 100$

3) Utskifting per dag per kg fôr:

$\text{utsifting / kg fôr} = \text{tilførsel av nytt vann per dag} / \text{daglig fôrforbruk}$

Tabell 24. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til vannkjemi og -kvalitet.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegne et diagram som viser vannets strømningsretning, ved å observere akvaponisystemet som et eksempel eller bruke nettressurser.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hva er likhetene og forskjellene mellom vannets syklus i miljøet og et akvaponisystem?</li> <li>Hva slags materialer kan brukes til å bygge et akvaponisystem?</li> <li>Hva er de mest relevante vannkvalitetsparametrene for å overvåke og opprettholde balansen i et akvaponisystem?</li> <li>Hvordan påvirker en økning/reduksjon av pH-verdien de viktigste vannkvalitetsparametrene over tid?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overvåke, måle og samle inn data om vannkjemi og -kvalitet i akvaponisystemet ved hjelp av de tilgjengelige malene i «Vedlegg» av denne KMS-en. Bruke disse dataene til å utarbeide rapporter med visuelle elementer og tabeller. Levere rapporter til neste skoleår inkludert skjema med registrerte data og refleksjoner.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utarbeide en plan for håndtering av restavfall fra akvaponisystemet og innføre denne strategien i drift, tilsyn og vedlikehold av systemet.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bruke nettressurser til å søke etter komponenter i drikkevannet der du bor, og notere ned konsentrasjoner av makro- eller mikronæringsstoffer (Junge et al., 2020). Oppgi kilder. Beskrive hvordan eventuelle konsentrasjoner vil påvirke akvaponisystemer.</li> <li>Skrive 500 ord om hvorfor tilsyn av akvaponisystemer er viktig. Ta med parametre som er viktige for tilsyn, og beskrive hvor ofte det bør finne sted og hvilke tester og metoder osv. som kan brukes (Junge et al., 2020). Oppgi kilder.</li> <li>Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til vannkjemi og -kvalitet, og laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velge et tema av interesse, og skrive 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vurdere ulike scenarioer der et akvaponisystem har lav(t) eller høy(t) temperatur, pH, oksygen, nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) og nitritt (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Identifisere mulige årsaker og forklare hva som vil skje med plantene og fisken, samt foreslå en utbedringsplan.</li> <li>Beregne graden av resirkulering i <i>resirkulerende akvakultur systemer (RAS)</i>: <ul style="list-style-type: none"> <li>Resirkuleringsgrad i %</li> <li>Utskifting per dag i %</li> <li>Utskifting per dag per kg fôr</li> </ul> </li> </ul>

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="480 226 1353 286">• Søk i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skriv 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li></ul>



## 5.5 Urban dyrking

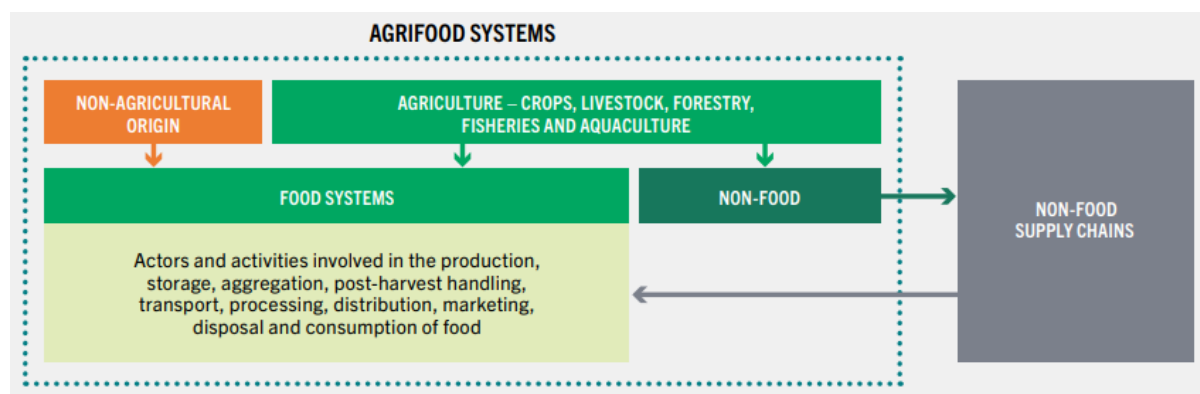
Økt matetterspørsel og redusert *matsikkerhet* verden over kombinert med økt globalt forbruk av akvatiske produkter gjør at det er viktigere enn noensinne å undervise og lære om urbane dyrking-løsninger som akvaponi. Tabell 25 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om urban dyrking. Tabell 26 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til urban dyrking.

Tabell 25. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisnings- og læringsmodulen om urban dyrking.

Fag	Fagkode	Tittel	Kompetansemål
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert næringsaktivitet</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drøfte hvordan naturbaserte produkter og tjenester kan utvikles innenfor rammen av bærekraftig utvikling og ressursforvaltning</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> <li>undersøke problemstillinger knyttet til arealbruk, gjøre rede for hvordan endringer kan påvirke økosystemer, og foreslå bærekraftige løsninger</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
<b>VG2</b>			
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 1</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske hvilke konsekvenser endringer i klima og arealutnytting kan ha for det biologiske mangfoldet, og drøfte tiltak for ei mer bærekraftig forvaltning</li> </ul>
<b>VG3</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drøfte hvordan menneskelig aktivitet påvirker kretsløpene, og utforske tiltak for å ivareta dem</li> </ul>



Matsystemer omfatter aktører og aktiviteter involvert i produksjon, oppbevaring, aggregering, håndtering etter høsting, transport, behandling, distribusjon, markedsføring, avhending og forbruk av mat fra som kommer fra landbruk (for eksempel matplanter, kveg, skogbruk, fiske, akvakultur) og mat som ikke kommer fra landbruk (for eksempel syntetisk kjøtt) (FAO, 2021). Landbrukssystemer (agrifood-systemer) er bredere enn matsystemer og består av tre hoveddeler: 1) primærproduksjon, 2) matdistribusjon, som knytter produksjon opp mot forbruk gjennom matforsyningskjeder og transportnettverk, og 3) husholdningsforbruk (FAO, 2021). Forholdet mellom matsystemer og agrifood-systemer er vist i Figur 18.



Figur 18. Konseptrammeverk for agrifood-systemer (FAO, 2021). Mat som ikke kommer fra landbruk, omfatter kjøttlignende produkter som er produsert ved hjelp av syntetisk biologi.

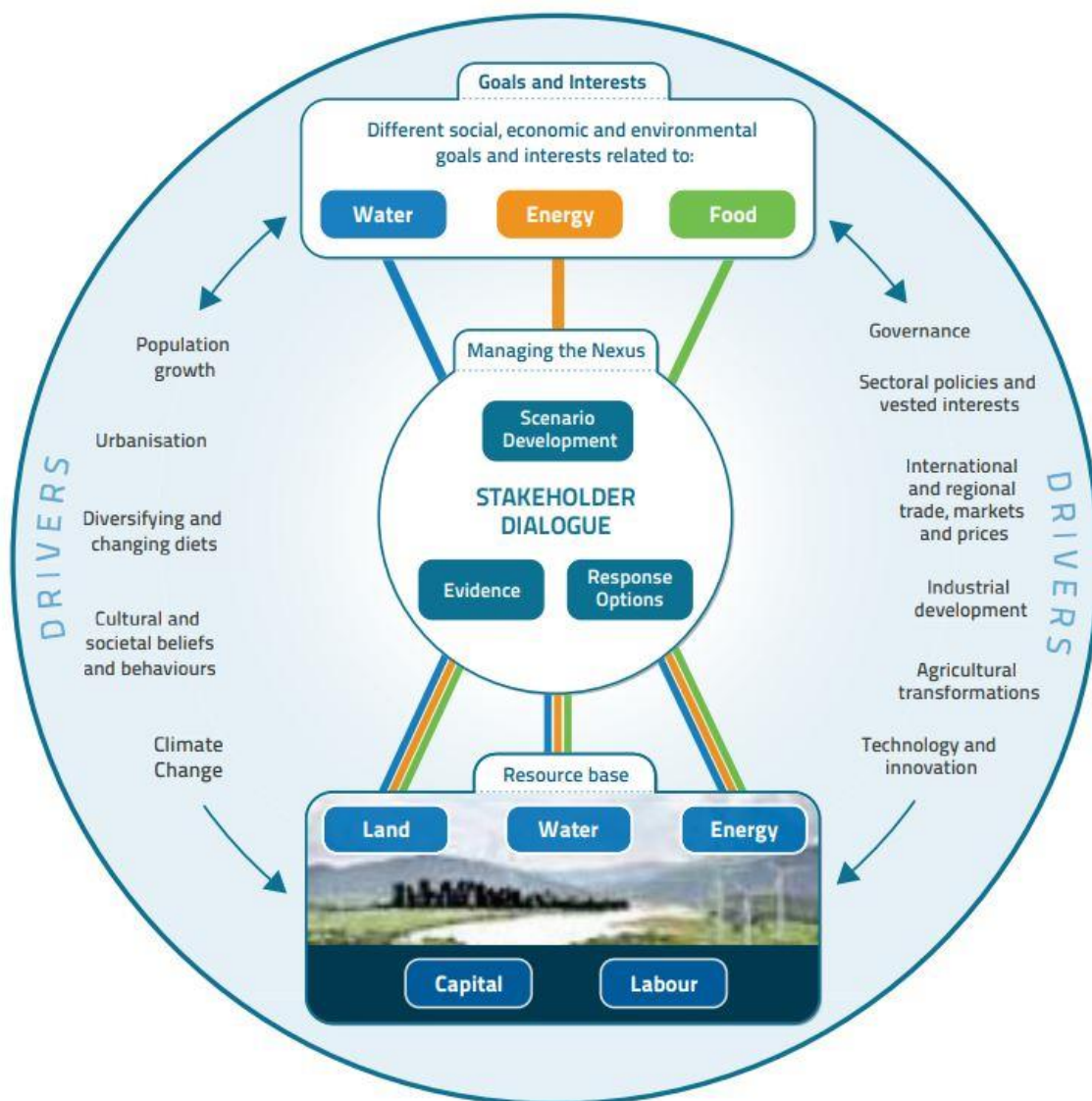
Det har i flere tiår vært et økende behov for å dekke verdens behov for mat og god næring på en mer bærekraftig og miljøvennlig måte. Krig, covid-19, klimaendringer og økte ulikheter bidrar til å redusere *matsikkerheten* i verden (DESA, 2022). **Matsikkerhet** er definert som når alle i en husholdning til enhver tid har tilgang til nok mat, trygg mat og næringsrik mat for et fullgodt kosthold som møter deres ernæringsmessige behov og matpreferanser som grunnlag for et aktivt liv med god helse (Babu et al., 2014). Det har vært en økning i moderat og alvorlig **matusikkerhet** siden 2014. Matusikkerheten ble forsterket av covid-19-pandemien, og nå lider mer enn 800 millioner mennesker av sult, og 2,4 milliarder mennesker har svært begrenset tilgang til tilstrekkelig mat (FAO, 2022). Akvatisk mat er en lett tilgjengelig og rimelig kilde til dyreprotein og *mikronæringsstoffer* og spiller en viktig rolle i å sikre mat- og ernæringsikkerhet for mennesker over hele verden (FAO, 2022). Det årlige forbruket av akvatisk mat per innbygger forventes å øke fra 20,2 kg i 2020 til 21,4 kg i 2030 som følge av økt etterspørsel. Det skyldes høyere inntekter og *urbanisering* kombinert med større produksjon, bedre håndtering etter høsting og distribusjon samt endringer i kostvaner (FAO, 2022).

I sitt [utkast til retningslinjer for bærekraftig akvakultur 2022 \(GSA\)](#) anbefaler FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO) å fremme bruk av «integrated agriculture-aquaculture (IAA)-systemer» gjennom politikk og institusjonelle rammeverk for å skape incentiver og fremme forskning og utvikling samt for å oppmuntre til partnerskap med flere interessenter for å fremme økt investering og markedsutvikling. GSA skal etter planen utgis i 2024.

Akvaponisk dyrking produserer mat på en mer bærekraftig måte, uten tilsetning av næringsstoffer eller syntetisk gjødsel, bruk av pesticider og minimal bruk av kjemiske tilsetningsmidler og antibiotika. Ettersom vannet i systemet brukes om igjen, reduseres også vannforbruket. De viktigste innsatsfaktorene som bidrar til miljøpåvirkning i akvaponisystemer, er identifisert som systeminfrastruktur og fiskefôr, og i kalde klimaer energi som brukes til oppvarming av systemet, men hvert akvaponisystem har egen unik innvirkning på miljøet (Greenfeld et al., 2022). Det er svært energikrevende å sikre gode vekstforhold for planter og fisk i akvaponisystemer. Miljøpåvirkningen må

derfor vurderes dersom systemet skal brukes til å forsyne urbane befolkninger med lokaldyrket mat, noe som kan være et mer bærekraftig og ressurseffektivt alternativ (Junge et al., 2020).

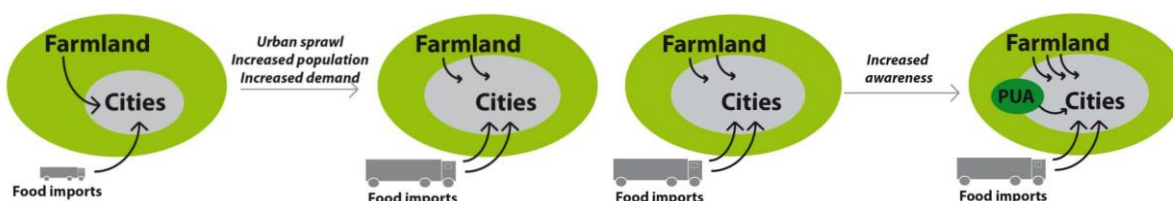
Landbruk driver frem globale endringer i arealbruk og bidrar til klimaendringer gjennom utslipp av globale klimagasser. Det er også en trussel mot biologisk mangfold og forstyrrer nitrogen- og fosforkretsløpet som følge av nyrydding, matplanteproduksjon og gjødsling (Tilman et al., 2011). Landbruk står allerede for 70 prosent av verdens samlede uttak av ferskvann. Det gjør landbruk til den største forbrukeren av vann i hele leverandørkjeden for agromat. Til landbruk benytter en også mange former for energi til å dyrke, transportere og distribuere mat samt til å utvinne, pumpe, løfte, hente, transportere og behandle vann (Flammini et al., 2014). Samspillet mellom vann, energi og mat som er vist i Figur 19, forsøker å balansere den gjensidige avhengigheten av vann, energi og matsikkerhet og bruk av økosystemressurser (som vann, energi, areal, jord og sosioøkonomiske faktorer) som eksisterer mellom mennesket og naturlige systemer.



Figur 19. FAOs tilnærming til samspillet vann-energi-mat som tar for seg interaksjoner og tilbakeføring mellom mennesket og naturlige systemer (Flammini et al., 2014).

Ifølge FN har den globale etterspørselen etter mat økt jevnlig. Den 15. november 2022 passerte folketallet i verden åtte milliarder mennesker. Det øker risikoen for at landbruket innvirker på planetens tålegrenser. Innen 2050 vil syv av ti mennesker bo i urbane områder (DESA, 2022). Det vil si at det vil oppstå en gradvis endring i den menneskelige befolkningen, der stadig flere flytter fra rurale til urbane

områder. Dette kalles for **urbanisering**. Det betyr at flere mennesker vil bli særlig sårbare for matusikkerhet da de er nesten helt avhengige av landbruksvarer som er importert fra andre regioner, langt borte fra der de bor (Milliken & Stander, 2019). Økt befolkning medfører ekspansjon av urbane områder, som vil trenge mer mat. Det vil øke kløften mellom produksjon og forbruk samt avstanden til matimport, mens flere lokale matmarkeder i byene vil motvirke disse effektene (Sanyé Mengual, 2015). Dette er vist i Figur 20. Økt *urbant landbruk* går ut på å benytte ledig areal som ellers ville blitt stående tomt, som for eksempel hustak og lite brukte lager, som landbruksvirksomheter kan benytte seg av til en overkommelig pris (Proksch et al., 2019). Bruk av urbane områder til matproduksjon er en pådriver for *den sirkulære økonomien* ettersom en kan ta i bruk restorative løsninger til å gjenvinne næringsstoff og avfall og til å bruke vann om igjen. Med solcelledesign er det også mulig å gjenbruke energi. **Urbant landbruk** eller dyrking kan forstås som landbruksrelaterte aktiviteter i og rundt en bys grenser med **periurbant landbruk** i utkanten av en by og urbant landbruk inne i byen. Ruralt landbruk finner ikke sted i urbane områder eller byer, verken inne i byer og urbane områder eller i utkanten. Urbane gårder kan inkludere hager som drives uten fortjeneste, og kommersielle virksomheter som kan bidra til sysselsetting og opplæring og fremme utdanning. De kan også bidra til bedre ernæring og helse blant lokalbefolkningen ved å levere lokaldyrkede, ferske produkter (Junge et al., 2020).



Figur 20. Implikasjoner for mat ved urban ekspansjon og revitalisering av lokale landbruksvarer. PUA står for periurban og urban (Sanyé Mengual, 2015).






Det globale forbruket av akvatisk mat økte i gjennomsnitt med 3 prosent i året i perioden 1961 til 2019, og det anslås akvatiske oppdrettsdyr vil utgjøre en enda større andel av det globale forbruket av akvatisk mat i fremtiden (FAO, 2022). Samfunnsmessige endringer som høyere inntekter, større andel kvinner i arbeidsstyrken, urbanisering og mindre familier vil, ifølge FAO, øke forbruket av ferdigmatprodukter. Det tyder på at forbrukere i industrialiserte land vil ha sunne, bærekraftige og lettvinde akvatiske produkter. Leverandører har fått tilgang til stadig mer fjerntliggende markeder, mens forbrukere har fått et mye større tilbud av akvatisk mat enn de artene som fanges eller dyrkes i lokale farvann. Samtidig har det vært inntektsvekst, økning i middelklassen og urbanisering, særlig i lavinntekts- og mellominntektsland. Det har ført til en betydelig økning i aggregert etterspørsel etter handlede akvatiske matvarer (FAO, 2022). Deltakelse fra lokalsamfunnet og gjenopprettelse av forhold der mennesker har makt i matsystemer, gjør at ønskene og behovene til matprodusenter, forhandlere og forbrukere står sentralt i matsystemene og i matpolitikken, i stedet for behovene til markeder og virksomheter (Junge et al., 2020).

Fordeler ved akvaponi i urbane områder (Proksch et al., 2019):

1. For mennesker
  - a. stadig større forbrukermarked med interesse for ferske, lokalproduserte landbruksvarer av høy kvalitet
  - b. konkurransedyktige priser på planter dyrket i akvaponianlegg
  - c. økt økonomisk bæredyktighet med fiskeproduksjon
  - d. kortere transportavstand til forbrukere
  - e. redusert behov for lagring av avling
2. For miljøet
  - a. bruk av høyere gjennomsnittstemperatur i systemer i urbane områder kontra i landdistrikt
  - b. integrering med bygningssystemer for bruk av spillvarme og CO<sub>2</sub> i avtrekksluft

- c. tiltak mot effekten av urbane varmeøyer om sommeren
- d. resirkulering av vanninfrastruktur for generelt lavere vannforbruk
- e. avrenning fra landbruk unngås

Tabell 26. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til urban dyrking.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvilken rolle spiller akvaponi i samspillet mellom vann, energi og mat?</li> <li>• Hvilke utfordringer er knyttet til matsikkerhet? <i>Økt matetterspørsel, mangel på landbruksjord (på grunn av jordforringelse, utarming av næringsstoffer), vannforbruk.</i></li> <li>• Hvilke fordeler har bruk av akvaponisystemer i urbane områder? <i>Pålitelige produksjonssystemer som leverer fersk mat i nærheten av urbane områder (Joyce et al., 2019), resirkulering av næringsstoffer, resirkulering av vann, forebygging av sykdomsoverføring mellom oppdrettspopulasjoner og ville bestander.</i></li> <li>• Nevne andre eksempler på naturbaserte og bærekraftige produkter og/eller tjenester som kan utvikles eller benyttes i urbane områder.</li> <li>• Hvordan kan Norges forbruk og produksjon av akvatiske produkter sammenlignes med forbruk og produksjon i resten av verden?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gå en tur i nabolaget ditt, og finn mulige områder som muligens kan brukes til et akvaponisystem. Det er viktig at alle akvaponisystemets innsatsfaktorer og utbytte tas i betraktning. Merk deg den geografiske lokasjonen, ta bilder, og begrunn hvorfor du valgte dette området. Ta alle potensielle lokasjoner med tilbake til en gruppe klassekamerater og fagfeller. Drøft og velg det beste alternativet for presentasjon i plenum.</li> <li>• Bruke nettressurser til å fastslå 1) hvordan jordfri matproduksjon kan innvirke på økonomiske ulikheter i et samfunn, og 2) om jordfri matproduksjon gir flere eller færre sysselsettingsmuligheter enn konvensjonell jordbasert matproduksjon. Basert på dine funn, drøft med dine klassekamerater om jordfri matproduksjon har flere eller færre fordeler knyttet til sosial bærekraft enn konvensjonelle jordbaserte landbruksmetoder?</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruke nettressurser til å forklare utfordringer knyttet til dyrking i urbane områder og problemstillinger knyttet til arealbruk i urbane områder. Skrive minst 500 ord og oppgi kilder.</li> <li>• Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til urban dyrking, laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velg et tema av interesse, og skriv 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifisere mulige interessenter som kan finansiere et nytt akvaponisystem, og skrive et brev med gode grunner til at de bør investere. Legge ved planer for systemet, budsjett og videre begrunnelser for å demonstrere systemenes relevans og viktigheten av interessentenes deltakelse. Potensielle interessenter kan for eksempel være representanter for statlige og kommunale myndigheter, ulike landbruksorganisasjoner, operatører eller produsenter av akvaponisystemer, osv.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Søke i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li> </ul>

## 5.6 Økonomi- og forretningsdrift

Akvaponisystemer produserer ressurser som kan kjøpes og selges, og denne modulen dekker ulike økonomibegreper, samt noen grunnleggende ting når man starter en student-ledet bedrift. Tabell 27 viser kompetansemålene fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for denne modulen om økonomi, kommunikasjon og energi. Tabell 30 viser eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til økonomi- og forretningsdrift.

Tabell 27. Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratets læreplaner i ulike fag for undervisnings- og læringsmodulen om økonomi, kommunikasjon og energi.

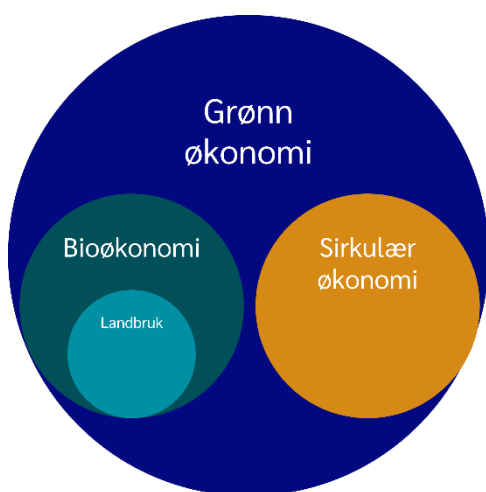
Subject	Subject code	Title	Competence objectives
<b>VG1</b>			
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utføre arbeidsoppgaver i ulike deler av verdikjeden basert på gjeldende regler og standarder</li> <li>foreta enkle beregninger av råvare- og materialforbruk, innsatsfaktorer og utbytte</li> </ul>
Naturbruk	NAB01-03	<a href="#">Naturbasert næringsaktivitet</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drøfte hvordan naturbaserte produkter og tjenester kan utvikles innenfor rammen av bærekraftig utvikling og ressursforvaltning</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 SF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt naturfaglig problemstilling, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 BA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> </ul>
Naturfag	NAT01-04	<a href="#">Vg1 NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en selvvalgt problemstilling knyttet til eget utdanningsprogram, presentere funn og argumentere for valg av metoder</li> <li>risikovurdere egne forsøk og håndtere avfallet fra disse på en forsvarlig måte</li> <li>utforske og presentere teknologi knyttet til eget utdanningsprogram og vurdere den i et bærekraftsperspektiv</li> </ul>
Engelsk	ENG01-04	<a href="#">Vg1 YF</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lese og sammenfatte faglig innhold fra engelskspråklig dokumentasjon</li> <li>skape yrkesrelevante tekster med struktur og sammenheng som beskriver og dokumenterer eget arbeid tilpasset formål, mottaker og situasjon</li> <li>utforske og reflektere over mangfold og samfunnsforhold i den engelskspråklige verden ut fra historiske sammenhenger</li> </ul>
Matematikk P	MAT08-01	<a href="#">1P-Y NA</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lese, bruke og lage regneark i arbeidet med budsjett, anbud og kostnadsberegning knyttet til naturbruk, og vurdere hvordan ulike faktorer påvirker resultatet</li> </ul>
<b>VG2</b>			
Landbruk og gartneri	LGA02-03	<a href="#">produksjon og tjenesteyting</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vurdere kvalitet og lønnsomhet i naturbaserte produksjoner etter gjeldende</li> </ul>



Subject	Subject code	Title	Competence objectives
			sertifiseringsordninger for produktkvalitet og miljø
Landbruk og gartneri	LGA02-03	<a href="#">forvaltning og drift</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>klargjøre produkt eller tjeneste for salg og gjøre rede for noen salgs- og omsetningsformer i landbruk og gartneri</li> <li>beskrive sentrale elementer for god økonomi- og driftsstyring i landbruk og gartneri og identifisere de viktigste nøkkeltallene for slike bedrifter</li> </ul>
<b>VG3</b>			
Kjemi	KJE01-02	<a href="#">Kjemi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn</li> </ul>
Biologi	BIO01-02	<a href="#">Biologi 2</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drøfte hvordan menneskelig aktivitet påvirker kretsløpene, og utforske tiltak for å ivareta dem</li> </ul>

Alle økonomier er avhengig av *naturressurser* som er begrenset av *planetens tålegrenser* (som definert i modul «Bærekraft»). Akvaponisystemer har mulig innvirkning på planetens tålegrenser knyttet til klimaendringer, nitrogen- og fosforkretsløpet, bruk av ferskvann og endret arealutnyttelse. En økonom samt andre som har ansvar for forretningsdriften av akvaponisystemer, må ha kunnskap om naturressursene for å kunne utarbeide en strategi for bruk av ressursene og for å kunne avgjøre hvilken biomasseressurs som er best egnet for en bestemt biobasert produktkjede, og hvordan disse produktkjedene kan optimaliseres (Zörb et al., 2018). En **verdikjede** beskriver alle aktiviteter et produkt eller en tjeneste går gjennom, helt fra utvikling av et konsept, gjennom ulike produksjonsfaser til levering til sluttbruker og slutt disponering av avfall (Zörb et al., 2018). Verdikjeder begynner med uthenting eller produksjon av råmaterialer, etterfulgt av logistikk for transport og bearbeiding. Deretter blir de enkelte mellomproduktene utviklet frem til en sitter igjen med et sluttprodukt som markedsføres og selges til kunden (Zörb et al., 2018).

Det er varierende eksisterende økonomibegrepene tilnærminger for å oppmuntre, tilpasse seg eller transformere dagens økonomi mot de tre pilarene i bærekraft: samfunn, økonomi og miljø. Tabell 28 skisserer de økonomiske begrepene som har blitt stadig mer populære de siste tiårene, og kan defineres fra en rekke ulike perspektiver. Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO) utvikler og publiserer standardisering på ulike felt, og etablerte i 2018 den pågående [ISO/FDIS 59004](#) for å definere terminologi, prinsipper og veiledning for implementering av *sirkulær økonomi* (Nobre & Tavares, 2021). Til tross for pågående tolkning kan **sirkulær økonomi** defineres som et økonomisk system som retter seg mot null avfall og forurensning gjennom hele materialets livssyklus, fra miljøutvinning til industriell transformasjon, og til sluttbrukere, som gjelder for alle involverte økosystemer, der materialer går tilbake til prosesser eller miljøet (Nobre & Tavares, 2021).



Figur 21. Eksempel på hvordan landbruk passer inn i økonomibegrepene (Birner, 2018).

**Bioøkonomien** knytter seg til all økonomisk aktivitet som utvikler og bruker biologiske produkter og prosesser og er bærekraftig og innovativ bruk av *biomasse* og biologisk

kunnskap for å gi mat, fôr, industriprodukter, bioenergi og økologiske og andre tjenester (Lewandowski et al., 2018; Loiseau et al., 2016). **Grønn økonomi** er et paraplybegrep styrt av miljøprinsipper som omfatter ulike implikasjoner med hensyn til vekst og trivsel eller effektivitet og risikoreduksjon i bruken av naturressurser (Loiseau et al., 2016). Sirkulær økonomi og bioøkonomi er begge sentrert rundt ressurser, mens den grønne økonomien adresserer naturlige prosesser (D'Amato et al., 2017). Fra et annet perspektiv kan bioøkonomien ses på som å adressere de *biomasse*baserte sektorene i en grønn økonomi, mens sirkulær økonomi er opptatt av de mer abiotisk-baserte sektorene i en grønn økonomi, som industri og produksjon (UNECE, 2018). Figur 21 viser et eksempel på hvordan landbruket er ordnet i økonomibegrepene.

EU definerer **biomasse** som den biologisk nedbrytbare delen av produkter, avfall og rester av biologisk opprinnelse fra landbruk (herunder vegetabilsk og animalsk avfall), fra skogbruk og tilhørende industrier (herunder fiske, akvakultur) samt den biologisk nedbrytbare delen av avfall (herunder industriavfall og kommunalt avfall av biologisk opprinnelse) (European Parliament, 2018). Biomasse endrer seg imidlertid når organismer virker på hverandre og i henhold til det *abiotiske* miljøet, så denne biologiske definisjonen kan forenkles til organisk materiale fra levende eller nylig levende organismer (Zörb et al., 2018). Biomasse kan benyttes til å produsere strøm og varme og som bioenergi som brennstoff til transport. Bioenergi bidrar til å redusere klimagassutslipp ved å gjøre samfunnet mindre avhengig av ikke-fornybare energikilder. Andre typer fornybar energi som solcellepaneler vil bidra til bærekraften til et akvaponisystem, ettersom energi trengs til oppvarming, kjøling, belysning og pumping av vann.

Tabell 28. Hovedaspekter inkludert i sirkulær økonomi, grønn økonomi og bioøkonomi-konsepter med hensyn til sosiale og miljømessige dimensjoner av bærekraft (D'Amato et al., 2017).

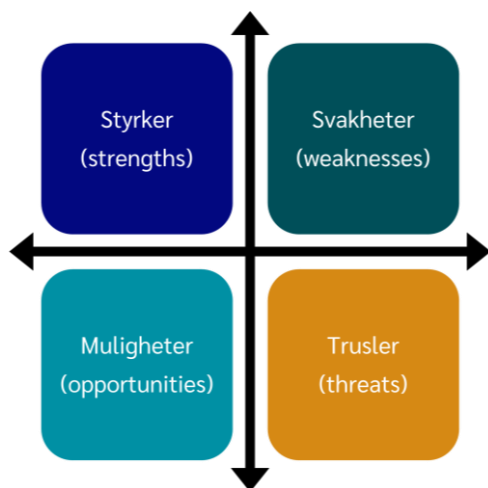
Konsepter	Bærekraftdimensjoner	
	Miljømessige	Sosiale
Sirkulær økonomi	Gjenvinning og resirkulering, forlenget produktlevetid, tjenestegjøring (servitization på engelsk), industriell symbiose, sirkulære og effektive forsyningskjeder, bærekraftig forbruk	Jobbskaping, sosial inkludering, forbrukerstyrking, innovasjon
Grønn økonomi	Bevaring, vann, areal, biologisk mangfold, matsikkerhet	Bærekraftig utvikling; grønne investeringer, turisme, forretningsvirksomhet, sysselsetting og opplæring
Bioøkonomi	Biosikkerhet, avlinger, arter, risiko, utbytte, fremmede arter	Landbrukspolitikk; forskning og anvendelse i helsevitenskap.

Her definerer vi en **gründer** som en person som etablerer en bedrift med sikte på å skape bærekraftig verdi for seg selv og samfunnet i tillegg til å tjene penger. Gründere identifiserer problemer og oppdager løsninger som skaper verdi, samtidig som de overholder regelverket som omgir forretningsaktiviteter. Regelverk kan omfatte skatter og tillatelser som trengs i tillegg til eventuelle miljøkrav for å starte en bedrift. Figur 22 viser et eksempel på de faser som kan / er vanligvis involvert i å skape en virksomhet. Oppstartsfasen innebærer å identifisere behov eller problemer og komme opp med løsninger som skaper verdi. I idéutvikling er det viktig å sikre at ideene er løsninger på de identifiserte behovene eller problemene som fokuserer på målgruppen eller interessenter. Etableringsfasen innebærer å definere merkevarebygging og roller i virksomheten for å sikre sterke interne prosesser. I driftsfasen kan løsninger testes, og det er viktig å sette opp en tidslinje og budsjett. Overskudd fordeles under avvikling og refleksjoner over hva som ble lært skal utføres.



Figur 22. Faser ved opprettelse av en bedrift (Entreprenørskap, 2022).

Kunnskap om informasjon og samfunnskontakt (public relations på engelsk) og markedsaksept er også viktig for leveranse av sluttprodukter eller -tjenester til kunden.



Figur 23. Skildring av en SWOT-analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).

Når man fokuserer på levering av sluttprodukter eller tjenester til forbrukere, kunnskap om informasjon og samfunnskontakt (public relations) og markedsaksept er nøkkelen til å forstå verdiskaping. Et verktøy gründere kan bruke til å evaluere interne evner og posisjonere sin virksomhet på markedet er SWOT-analysen (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) vist i Figur 23. For å forstå de eksterne faktorene som kan påvirke en bedrift, kan en PESTLE-analyse brukes til å undersøke de politiske, økonomiske, sosiale, teknologiske, juridiske og miljømessige faktorene. Merk at andre varianter for denne analysen kan være PESTEL, hvor juridiske og miljømessige faktorer byttes og/eller PESTELE, hvor etiske faktorer også vurderes. Et eksempel på en PESTLE-analyse relatert til akvaponi-industrien er vist i Tabell 29. Slike analyser brukes ofte i kommersielle organisasjoner som en del av

den strategiske utviklingen av forretnings- og markedsføringsplaner, samt en del av å vurdere de eksterne faktorene i en SWOT-analyse. For å finne mer informasjon om disse faktorene, undersøk nettsteder og databaser fra offentlige kilder, nyhets- og medieplattformer, industri, forskning, samt rapporter om økonomisk og samfunnsansvar og patenter.

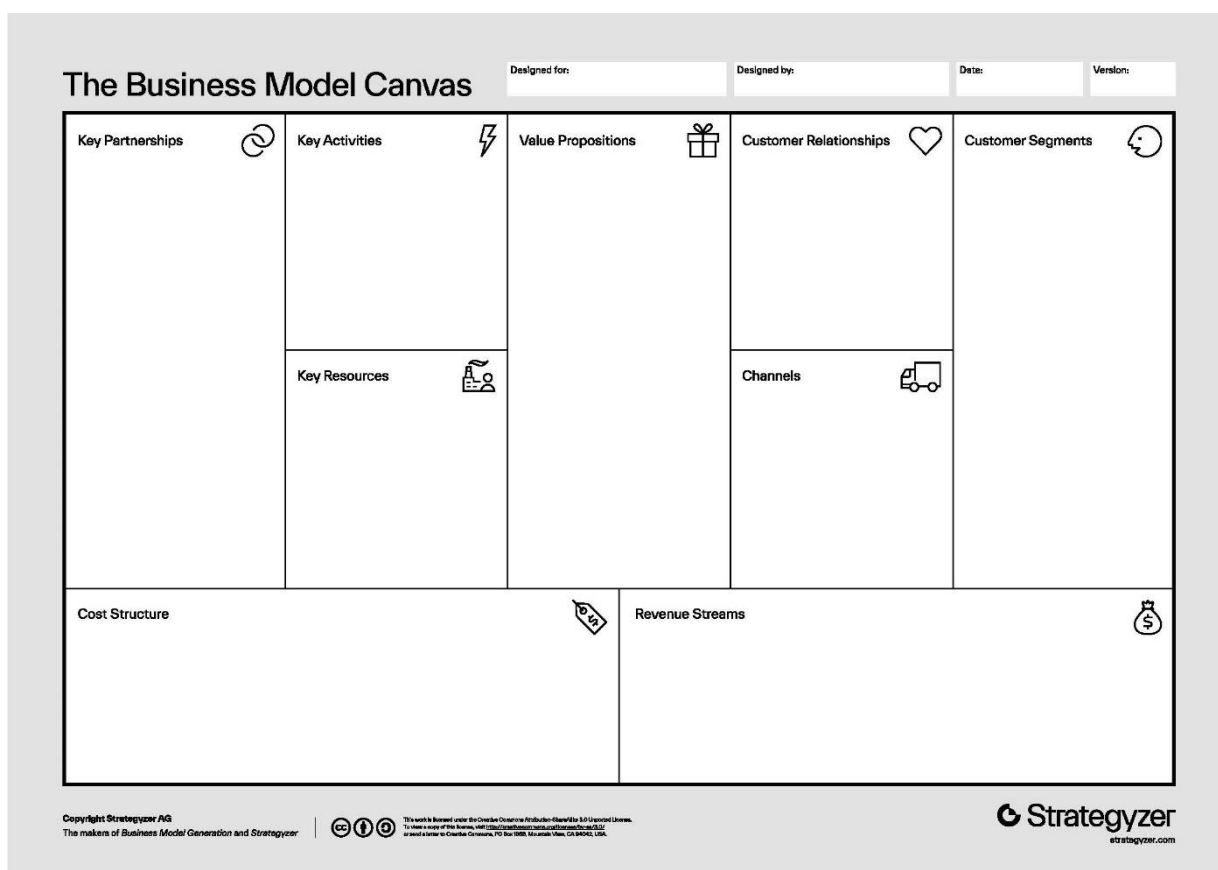
Tabell 29. PESTLE-analyse med eksempler knyttet til akvaponi-industrien. Det kan foretas en vurdering om hver av disse faktorene påvirker virksomheten på en positiv eller negativ måte.

Politiske (political)	Økonomiske (economical)	Sosiale (social)	Teknologiske (technological)	Juridiske (legal)	Miljø (environment)
Offentlige reguleringer og retningslinjer (f.eks. vannbruksforskrifter og landbrukssubsidier)	Påvirkning på industrien fra faktorer som inflasjon, økonomisk vekst og forbruk	Forbrukerpreferanser og demografi kan gi innsikt i markedet for akvaponi relaterte produkter	Virkningen av teknologiske fremskritt i akvaponisystemer (f.eks. digitalisering av overvåkingsystemer)	Regelverk knyttet til dyrehelse, mattrygghet, miljø og arbeidskraft	Effekten av klima- og klimaendringer og bærekraftinitiativer

Sentralt for å etablere en vellykket virksomhet er å etablere en levedyktig og bærekraftig forretningsmodell. En forretningsmodell beskriver hvordan du skaper, leverer og fanger verdi tilbake fra kundene dine (Osterwalder & Pigneur, 2010). Dette kan utforskes og gjentas ved hjelp av forretningsmodell læreretsverktøyet utviklet av Strategyzer som vist i Figur 24.







Å sette opp et **budsjett** er viktig for å starte en bedrift og estimere kostnadene som trengs for å etablere, bygge og installere, samt drifte, føre tilsyn og vedlikeholde et akvaponisystem. Å identifisere alle de forskjellige komponentene som trengs for å bygge et akvaponisystem og deres kostnader er nødvendig når du setter opp et budsjett. Komponenter kan omfatte fisketanker, vokse senger, vokse lys, vann og luftpumper, rør, oppvarming, kjøling, et filtreringssystem, et overvåkingssystem, og tidtakere og kontrollere. Identifisering av andre materialer som trengs for å drive et akvaponisystem er også viktig og kan omfatte testkit for vannkvalitet, fiskefôr, hageutstyr, frø og fisk. Andre immaterielle kostnader inkluderer vannforsyning og elektrisitet. Når alle kostnader er regnskapsført, er det avgjørende å spore utgifter for å ha en forståelse av de faktiske kostnadene for å sette realistiske mål for fremtidige kostnader og foreta justeringer. Gjennomgang av et budsjett regelmessig er også viktig for å sikre at den første forretningsplanen for et akvaponisystem forblir på sporet.






Figur 24. Strategyzer business model canvas tool (Strategyzer, 2023).

Tabell 30. Eksempler på aktiviteter og diskusjonstemaer som kobler akvaponi til økonomi- og forretningsdrift.

Læringstype	Aktivitet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegn diagrammer over akvaponisystemer som viser resirkulering av vann og næringsstoffer. Del diagrammene i en gruppe med klassekamerater og fagfeller for diskusjon og velg det beste alternativet å presentere i plenum.</li> <li>Tegne en plakat og utarbeide en markedsstrategi for et akvaponisystem, og forberede en muntlig presentasjon der plakaten forklares som om presentasjonen ble holdt på et arbeidsmøte for besøkende.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvordan kan naturressurser utnyttes effektivt i akvaponi?</li> <li>• Hvordan kan en voksende bioøkonomi bidra til å løse globale utfordringer knyttet til energi og matproduksjon?</li> <li>• Hvordan ville henholdsvis en biolog, kjemiker og teknolog definere begrepet <i>biomasse</i>?</li> <li>• Hva er hovedelementene i god økonomisk og driftsmessig forvaltning i landbruk og hagebruk?</li> <li>• Hvilke prosesser og inngangsfaktorer bør vurderes når en skal beregne de totale kostnadene ved et akvaponisystem?</li> <li>• Hva er ulike fornybare energiløsninger passende for akvaponi?</li> <li>• Anta rollene til ulike interessenter i akvaponisk industri for å forstå markedsutfordringer.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utfør en SWOT-analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) for å evaluere interne evner og markedsposisjonering av en forretningsidé rundt akvaponi.</li> <li>• Gjennomfør en PESTLE (politisk, økonomisk, sosial, teknologisk, juridisk og miljø) analyse for å forstå det ytre miljøet til en forretningsidé rundt akvaponi.</li> <li>• Se YouTube-videoen «Business Model Canvas Explained» av Strategyzer for å bedre forstå hvordan du bruker lærretsverktøyet for forretningsmodeller (på engelsk): <a href="https://www.youtube.com/watch?v=OoAOzMTLP5s">https://www.youtube.com/watch?v=OoAOzMTLP5s</a>. Utforsk ulike forretningsmodeller for et akvaponisystem.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vurdere produktene fra et akvaponisystem fra en økonoms synspunkt som følger produktets verdikjede. Sammenligne verdikjeden til produkter fra akvaponianlegg med verdikjeden til lignende produkter som finnes i en lokal matbutikk. Hva er forskjellen i avstand fra produksjon til forbruk? Forberede og presentere for klassen ved bruk av relevant terminologi.</li> <li>• Utvikle et konsept for en kommersiell akvaponivirksomhet som selger ferske, lokale produkter ved å identifisere følgende: eventuelle konkurrenter, lokale lover og regelverk, type system, planter og fisk, lokasjon og mål kunder. Forberede og presentere virksomheten for klassen ved bruk av relevant terminologi. <u>Tilleggsaktivitet:</u> Utfør en SWOT-analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) for å evaluere interne evner og markedsposisjonering for akvaponivirksomheten.</li> <li>• Utforsk potensielle kundebaser for akvaponi relaterte produkter. Presentere funn om kundedemografi og preferanser.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Et stadig økende antall land har innfører strategier eller politikk for bioøkonomi. Bruke nettressurser til å få bedre forståelse av Norges strategi for bioøkonomi. Fastslå naturforhold, arbeidskraft, kunnskapsressurser, kapitalressurser og infrastruktur for Norges strategi for bioøkonomi. Oppgi kilder.</li> <li>• Bruke nettressurser til å søke etter forskrifter om merking av matvarer i Norge. Oppgi kilder. <u>Tilleggsaktivitet:</u> Tenke over hvilke tiltak som må innføres for å kunne selge produkter fra et akvaponisystem.</li> <li>• Bruke nettressurser til å søke etter forskrifter om økologiske matvarer i Norge. Oppgi kilder. <u>Tilleggsaktivitet:</u> Tenke over hvilke tiltak som må innføres for å kunne selge økologiske produkter fra et akvaponisystem.</li> <li>• Begrepet <i>biomasse</i> er definert som den biologisk nedbrytbare fraksjonen av produkter, avfall og rester av biologisk opprinnelse fra landbruk, skogbruk og relaterte næringer i denne modulen. Sammenlign denne definisjonen med definisjonen i modulen «Dyrevelferd» og bruk</li> </ul>

	<p>nettbaserte kilder for å utforske hvordan kommunikasjon er forskjellig på tvers av disipliner. Skriv 250 ord og oppgi referanser.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruke nettkilder til å søke etter artikler om akvaponi ved å bruke ulike nøkkelord knyttet til energi, økonomi og kommunikasjon, og laste ned artikler som er interessante, og ordne dem etter relevans og emne. Velge et tema av interesse, og skrive 500 ord om dette. Oppgi kilder.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifisere mulige interessenter som kan finansiere et nytt akvaponisystem, og skrive et brev med gode grunner til at de bør investere. Legge ved planer for systemet, budsjett og videre begrunnelser for å demonstrere systemenes relevans og viktigheten av interessentenes deltakelse. Potensielle interessenter kan for eksempel være representanter for statlige og kommunale myndigheter, ulike landbruksorganisasjoner, operatører eller produsenter av akvaponisystemer, osv.</li> <li>• Utvikle en markedsføringsplan for akvaponi relaterte produkter. Dekke komponenter som målgruppe, unikt salgsløp, prissetting og budsjettering, markedsføringsmål, markedsføringsstrategier (inkludert kanaler og taktikker), og en evalueringsplan. Reflekter over etisk merkevarebygging og reklame.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beregne kostnadene ved vedlikehold av et akvaponisystem ved å sette opp et budsjett.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Søke i læreplanene til Utdanningsdepartementet for ulike fag, og skrive 500 ord om hvordan akvaponi kan integreres i læreplanene.</li> </ul>

## 6 Ressurser

### 6.1 Læreplanverket for Kunnskapsløftet

Kompetansemål fra Utdanningsdirektoratet: <https://sokeresultat.udir.no/finn-lareplan.html?flttypefiltermulti=Kunnskapsl%C3%B8ftet%202020&filtervalues=all>

### 6.2 Læreplaner og inspirasjon

AQU@TEACH Aquaponics Curriculum and Textbook (på engelsk):  
<https://aquateach.wordpress.com/curriculum/>

Facebook-gruppe for de som underviser i naturfag i Norge (Naturfagdidaktikk):  
<https://www.facebook.com/groups/725754897485234/>

KlimaSkolen: <https://www.klimaskolen.no/>

Kart over alle kjente akvaponianlegg i Europa:  
[https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ll=35.352940376586105%2C0.4574513507217155&z=4&mid=1bjUUbCtUfE\\_BCgaAf7AbmxyCpT0](https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ll=35.352940376586105%2C0.4574513507217155&z=4&mid=1bjUUbCtUfE_BCgaAf7AbmxyCpT0)

Naturfagsenteret: <https://www.naturfagsenteret.no/>

Nasjonal digital læringsarena: <https://ndla.no/subject:1:f2e831f5-2365-4ac8-bfce-4fc38323d91b/topic:7:1c484b3e-7f3d-4a81-8c24-c8ffc95d421d/resource:b9c7439c-c6a0-41d8-b38b-0dccc9d69a>

Skolerom (krever registrering): <https://skolerom.no/>

Spire Skoleportal: <https://skoleportal.spireorg.no/>

Ungt Entreprenørskap (krever registrering): <https://portal.ue.no/logg-inn>

### 6.3 Podcasts

NRK Radio Ekko – Akvaponi - planter elsker fiskebæsj!: [https://radio.nrk.no/podkast/ekko\\_-\\_et\\_aktuelt\\_samfunnsprogram](https://radio.nrk.no/podkast/ekko_-_et_aktuelt_samfunnsprogram)

### 6.4 Videoer

«EU Aquaponics Hub: Realising Sustainable Integrated Fish and Vegetable Production for the EU» (på engelsk): <https://www.youtube.com/EUAquaponicsHub>

«OECD Trade and Agriculture – Making Better Policies for Food Systems» (på engelsk):  
<https://youtu.be/poaxeoVwMs>

## 6.5 Ordliste

Seksjon/modul	Relevant ord	Definisjon
Hva er akvaponi?	Akvaponi	Kombinasjon av hydroponi og akvakultur i et lukket sirkulasjonssystem
Grunnleggende om akvaponi	Akvakultur	Oppdrett, dyrking og høsting av vannlevende dyr og planter i alle typer vannmiljøer
	Hydroponi	Dyrking av planter i vann uten jord
	Resirkulerende akvakultur systemer (RAS)	Systemer som behandler og gjenbraker vann til fiskeproduksjon
Bærekraft	Naturressurser	Ressurser som stammer fra det naturlige miljøet, inkludert biotiske ressurser fra levende organismer og organisk materiale samt abiotiske ressurser fra ikke-levende og uorganisk materiale
	Planetens tålegrenser	Rammeverk for å beskrive grenser eller tålegrenser som menneskeheten må holde seg innenfor for at den skal være trygg, knyttet til ni globale prosesser
	Bærekraft	Det å sikre at dagens behov imøtekommes uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov
	Terskel	Mengden press eller endringer i nøkkelvariabler i et miljø der et økosystems vippepunkt for å gå over i en ugunstig tilstand blir uunngåelig
	Vippepunkt	Punkt der en rekke små endringer av nøkkelvariabler blir signifikante nok til å forårsake en større, mer signifikant endring
Plantevekst, -helse og -utvikling	Makronæringsstoffer	Kjemiske stoffer som trengs i store mengder for å gi energi til å opprettholde vitale funksjoner for levende organismer
	Metabolisme	En rekke kjemiske reaksjoner som omdanner energi i cellene til levende organismer
	Mikronæringsstoffer	Kjemiske stoffer som levende organismer trenger mindre mengder av for normal vekst og utvikling
	Nitrifikasjon	Biologisk omdanning av ammoniakk til nitritt og nitritt til nitrat
	Fotosyntese	Prosess der planter tar opp lys, vann og karbondioksid for å produsere oksygen og energi
Dyrevelferd	Abiotisk	Ikke-levende og uorganisk
	Biomasse	Total mengde eller vekt av organismer i et gitt område eller volum
	Biotisk	Levende og organisk
	Dyretetthet	Antall individer på et visst område
	Stress	Trykk, belastning eller spenning
Vannkjemi og -kvalitet	Total Ammonia Nitrogen / Totalt ammoniakknitrogen (TAN)	Summen av ammoniakk og ammonium

Seksjon/modul	Relevant ord	Definisjon
	Vannets kretsløp	Kontinuerlig bevegelse av vannet på jorden mellom havene, atmosfæren og jordens overflate i ulike former: væske, fast form og damp
Urban dyrking	Matusikkerhet	Når en person ikke har regelmessig tilgang til tilstrekkelig trygg og næringsrik mat for normal vekst og utvikling og til et aktivt og sunt liv
	Matsikkerhet	Når alle i en husholdning har fysisk og økonomisk tilgang til nok mat, trygg mat og næringsrik mat for et fullgodt kosthold som møter deres ernæringsmessige behov og matpreferanser som grunnlag for et aktivt liv med god helse
	Periurbant landbruk	Landbruksaktiviteter i utkanten av en by
	Urbant landbruk	Landbruksaktiviteter <sup>®</sup> en by
	Urbanisering	Det at befolkningen flytter fra rurale til urbane områder
Økonomi- og forretningsdrift	Bioøkonomi	Bærekraftig og innovativ bruk av biomasse og biologisk kunnskap til produksjon av mat, dyrefôr, industriprodukter, bioenergi, økologiske og andre tjenester
	Biomasse	Biologisk nedbrytbar del av produkter, avfall og rester av biologisk opprinnelse fra landbruk, skogbruk og tilhørende industrier
	Budsjett	Estimat av inntekter og kostnader for en bestemt tidsperiode
	Sirkulær økonomi	Et økonomisk system som retter seg mot null avfall og forurensning gjennom hele materialets livssyklus, fra miljøutvinning til industriell transformasjon, og til sluttbrukere, som gjelder for alle involverte økosystemer, der materialer går tilbake til prosesser eller miljøet
	Gründer	Person som etablerer en bedrift med sikte på å skape bærekraftig verdi for seg selv og samfunnet i tillegg til å tjene penger
	Grønn økonomi	Paraplybegrep styrt av miljøprinsipper som omfatter ulike implikasjoner med hensyn til vekst og trivsel eller effektivitet og risikoreduksjon i bruken av naturressurser
	Verdikjede	Alle aktiviteter et produkt eller en tjeneste går gjennom, fra utvikling av et konsept til produksjon og levering til sluttbruker og sluttdisponering av avfall

## 7 Referanser

- Aschemann-Witzel, J., & Schulze, M. (2023). Transitions to plant-based diets: the role of societal tipping points. *Current Opinion in Food Science*, 51, 101015. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101015>
- Babu, S. C., Gajanan, S. N., & Sanyal, P. (2014). Chapter 1 - Introduction to Food Security: Concepts and Measurement. In S. C. Babu, S. N. Gajanan, & P. Sanyal (Eds.), *Food Security, Poverty and Nutrition Policy Analysis (Second Edition)* (pp. 7-28). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405864-4.00001-6>
- Baganz, G. F. M., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252-264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- Barton, B. A. (2002). Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>
- Birner, R. (2018). Bioeconomy Concepts. In I. Lewandowski (Ed.), *Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy* (pp. 17-38). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_3)
- Britannica, E. Chloroplast structure. In: Encyclopædia Britannica.
- Britannica, E. Hydrologic cycle. In: Encyclopædia Britannica.
- Britannica, E. Koi fish. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/koi-fish>
- Britannica, E. Nitrogen cycle. In: Encyclopædia Britannica.
- Britannica, E. Plant cell. In: Encyclopædia Britannica.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future* (A/42/427). UN. <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=en>
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., & Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292-297. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.014>
- D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B. D., & Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716-734. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>
- Deconinck, K., & Toyama, L. (2022). Environmental impacts along food supply chains. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1787/48232173-en>
- DESA, U. (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022* (978-92-1-101448-8). U. Nations. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>
- Eck, M., Körner, O., & Jijakli, M. H. (2019). Nutrient Cycling in Aquaponics Systems. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 231-246). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9)
- Entreprenørskap, U. (2022). *Elevbedrift*. Ungt Entreprenørskap. <https://elevbedrift.no/>
- Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance.), (2018). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2018%3A328%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2018%3A328%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG)
- FAO. (2021). *In Brief The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. (978-92-5-135208-3). FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7351en>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. (978-92-5-136364-5). FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>



- Fjellheim, A. J., Hess-Erga, O.-K., Attramadal, K., & Vadstein, O. (2017). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon - Bakgrunnshefte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjo* (2 ed.). NIVA, NTNU, SINTEF, Marine Harvest and Scottish Sea Farms.
- Flammini, A., Puri, M., Pluschke, L., & Dubois, O. (2014). *Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative* (978-92-5-108487-8). (Environment and Natural Resources Management Working Paper, Issue. FAO. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/f065f1d5-2dda-4df7-8df3-4defb5a098c8/>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and Global Food Challenges. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 3-17). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_1)
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., Spatari, S., & Angel, D. L. (2022). Is aquaponics good for the environment?—evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International*, 30(1), 305-322. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00800-8>
- Hart, E. R., Webb, J. B., Hollingsworth, C., & Danylchuk, A. J. (2014). Managing Expectations for Aquaponics in the Classroom: Enhancing Academic Learning and Teaching an Appreciation for Aquatic Resources. *Fisheries*, 39(11), 525-530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/03632415.2014.966353>
- Hess-Erga, O.-K., Gjesteland, I., Wolff, S. A., & Vikingstad, E. (2013). *Utnyttelse av oppløst og partikulært avfall fra smoltproduksjon i et resirkulasjonssystem (AQP Vest)* (978-82-577-6316-9). N. i. f. vannforskning. <http://hdl.handle.net/11250/216468>
- Hess-Erga, O.-K., Åtland, Å., Kvam, O. V., Berland, M., Hansen, E., & Melingen, G. O. (2018). *Etablering av et demonstrasjonsanlegg for integrert produksjon av fisk og planter på Akvariet i Bergen* (978-82-577-6962-8). N. i. f. vannforskning. <http://hdl.handle.net/11250/2480694>
- Hikari. (2023). Feeding Your Coldwater Koi – The Basics. In (Vol. 2023): Hikari Sales USA, Inc.
- Hillebrand, H., Kuczynski, L., Kunze, C., Rillo, M. C., & Dajka, J.-C. (2023). Thresholds and tipping points are tempting but not necessarily suitable concepts to address anthropogenic biodiversity change—an intervention. *Marine Biodiversity*, 53(3), 43. <https://doi.org/10.1007/s12526-023-01342-3>
- J. Wilson, K., M. Long, T., L. Momsen, J., & Speth, E. (2020). Modeling in the Classroom: Making Relationships and Systems Visible. *CBE—Life Sciences Education*, 19(1), fe1. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0255>
- Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B., & Wuertz, S. (2019). Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 19-34). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2)
- Junge, R., Antenen, N., Villarroel, M., Tjaša, G. B., Ovca, A., & Milliken, S. (2020). *Aquaponics Textbook for Higher Education*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3948179>
- Junge, R., Bulc, T. G., Anseeuw, D., Yavuzcan Yildiz, H., & Milliken, S. (2019). Aquaponics as an Educational Tool. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 561-595). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_22)
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., & Jijakli, M. H. (2017). Strategic Points in Aquaponics. *Water*, 9(3), 182. <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/3/182>
- Junge, R., Wilhelm, S., & Hofstetter, U. (2014). *Aquaponic in classrooms as a tool to promote system thinking* 3<sup>rd</sup> Conference with International Participation - Conference VIVUS, Conference on Agriculture, Environmentalism, Horticulture, Floristics, Food Production and Processing,

- Strahinj, Naklo, Slovenia, 14–15 November 2014, Strahinj. <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/2658>
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: The Basics. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 113-143). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5)
- Lenton, T. M., Benson, S., Smith, T., Ewer, T., Lanel, V., Petykowski, E., Powell, T. W. R., Abrams, J. F., Blomsma, F., & Sharpe, S. (2022). Operationalising positive tipping points towards global sustainability. *Global Sustainability*, 5, e1, Article e1. <https://doi.org/10.1017/sus.2021.30>
- Lewandowski, I., Gaudet, N., Lask, J., Maier, J., Tchouga, B., & Vargas-Carpintero, R. (2018). Context. In I. Lewandowski (Ed.), *Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy* (pp. 5-16). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_2)
- Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>
- Mattilsynet. (2022, 21.09.2022). *Nytt regelverk for dyrehelse*. Mattilsynet. Retrieved 06.07.2023 from [https://www.mattilsynet.no/dyr\\_og\\_dyrehold/dyrehelse/nytt\\_dyrehelseregelverk\\_2021/](https://www.mattilsynet.no/dyr_og_dyrehold/dyrehelse/nytt_dyrehelseregelverk_2021/)
- Maucieri, C., Forchino, A. A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3119-3127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.097>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E. v., Anseeuw, D., Havermaet, R. V., & Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 77-110). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4)
- Milliken, S., & Stander, H. (2019). Aquaponics and Social Enterprise. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 607-619). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_24)
- Mizuta, D. D., Froehlich, H. E., & Wilson, J. R. (2023). The changing role and definitions of aquaculture for environmental purposes. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 130-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12706>
- Nobre, G. C., & Tavares, E. (2021). The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127973. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127973>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Proksch, G., Ianchenko, A., & Kotzen, B. (2019). Aquaponics in the Built Environment. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 523-558). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_21)
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., . . . Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Roques, S., Kendall, S., Smith, K. A., Newell Price, P., & Berry, P. (2013). *Review of the non-NPKS nutrient requirements of UK cereals and oilseed rape*.
- Sanyé Mengual, E. (2015). *Sustainability assessment of urban rooftop farming using an interdisciplinary approach* [Universitat Autònoma de Barcelona]. Bellaterra. <https://ddd.uab.cat/record/137919>
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C., & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591-596. <https://doi.org/10.1038/35098000>

- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. (978-92-5-108533-2). FAO. <https://www.fao.org/in-action/globefish/publications/details-publication/en/c/338354/>
- Steffen, W., Rockstrom, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R., & Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant Pathogens and Control Strategies in Aquaponics. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 353-378). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_14)
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- UN. (2023). *Communications materials*. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>
- UNECE. (2018). *Measuring the Value of Forests in a Green Economy: Geneva timber and forest discussion paper 70* (978-92-1-117162-4). UNECE. <https://unece.org/info/publications/pub/22098>
- Utdanningsdirektoratet. (2022). *Curricula in English*. Utdanningsdirektoratet. <https://www.udir.no/english/curricula-in-english/>
- Yavuzcan Yildiz, H., Radosavljevic, V., Parisi, G., & Cvetkovikj, A. (2019). Insight into Risks in Aquatic Animal Health in Aquaponics. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 435-452). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_17)
- Zörb, C., Lewandowski, I., Kindervater, R., Göttert, U., & Patzelt, D. (2018). Biobased Resources and Value Chains. In I. Lewandowski (Ed.), *Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy* (pp. 75-95). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_5)

## 8 Vedlegg

Maler klare til utskrift og bruk i klasserommet for en kontaktliste, daglig tilsyn av arters vekst og helse, og vannkjemi og kvalitet i akvaponisystemer. I tillegg, finnes det faktaark som er kortere versjoner av innholdet og de seks undervisnings- og læringsmodulene i dette dokumentet for lærere til å skrive ut.

## Kontaktliste for akvaponisystemet

<b>Hovedkontakt:</b>	
Navn	
Telefon	
E-post	
Rolle	
Organisasjon	
<b>Driftsansvarlig:</b>	
Navn	
Telefon	
E-post	
Rolle	
Organisasjon	
<b>Ansvarlig for daglig stell og tilsyn:</b>	
Navn	
Telefon	
E-post	
Rolle	
Organisasjon	
<b>Leverandør av akvaponisystem:</b>	
Navn	
Telefon	
E-post	
Rolle	
Organisasjon	
<b>Annet:</b>	
Navn	
Telefon	
E-post	
Rolle	
Organisasjon	







## Hva er akvaponi?

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk P, Landbruk og gartneri, Kjemi og Biologi

**Akvaponi** er en kombinasjon av to ulike teknologier som deler felles ressurser som vann og næringsstoffer i en lukket sløyfe. Det som må tilføres ethvert akvaponisystem (eller «inputs» på engelsk) er: fiskefôr og/eller ekstra gjødsel, energi til belysning, oksygen, varme og pumping, karbondioksid dosering og biologisk bekjemping. Utbytte (eller «outputs») er fisk og planter.<sup>1</sup>

**Hydroponi** er dyrking av planter i vann uten jord.

**Akvakultur** er oppdrett, dyrking og høsting av vannlevende dyr og planter i alle typer vannmiljøer.

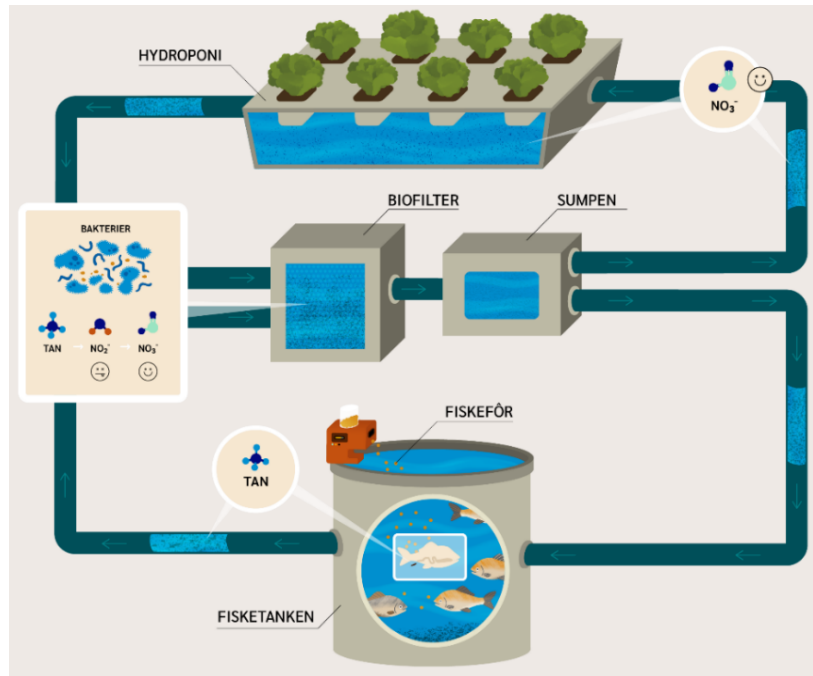
Bakterier er vanligvis usynlige for det blotte øye og er en viktig del av akvaponi som finnes i biofilteret. Bakterier er komplekse og omdanner ammoniakk til nitrat, som er avgjørende for fiskehelsen og påvirker oksygenforbruket.



*Crispissalat er svært populær og utbredt i Norge og ideell for dyrking i et akvaponisystem (Hess-Erga et al., 2013).*

### Nøkkelbegrep på norsk og engelsk

Akvaponi	Aquaponics
Hydroponi	Hydroponics
Akvakultur	Aquaculture
Resirkulerende akvakultur systemer (RAS)	Recirculation aquaculture systems (RAS)
Nitrifikasjon	Nitrification



*Eksempel av et akvaponisystem der TAN står for totalt ammoniakknitrogen,  $NO_2^-$  er nitritt og  $NO_3^-$  er nitrat. Nitrat er en viktig gjødsel for plantevekst, -helse og -utvikling.*

Vanlige materialer som brukes som vekstmedium i hydroponi med og uten substrat innebærer: i) med substrat kan være organisk (torv, kokosfiber, trebark, trefiber), uorganisk (sand/grus, pimpstein, lapillus, vermikulitt, perlitt, utvidet leire, steinull, zeolitter), eller syntetisk (ekspandert polystyren, polyuretan-skum) og ii) uten substrat (Nutrient Film Technique (NFT), Deep Flow Technique (DFT)/ Deep Water Culture (DWC), aeroponikk).<sup>2</sup>

I **resirkulerende akvakultur systemer (RAS)** blir avløpsvann fra fisk behandlet og brukt om igjen i et system som er kontrollert og stort sett uavhengig av lokale forhold.<sup>3</sup> RAS-enheten kan behandle vannet ved å fjerne partikler, sørge for **nitrifikasjon** i biofilteret og desinfisere.

**Nitrifikasjon** er biologisk omdanning av ammoniakk til nitritt og nitritt til nitrat.

<sup>1</sup> Goddek et al., 2019

<sup>2</sup> Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019

<sup>3</sup> Junge et al., 2020

# Bærekraft

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Kjemi

I rapporten fra FNs verdenskommisjon for miljø og utvikling fra 1987, Brundtland-rapporten, defineres **bærekraft** som det å sikre at dagens behov imøtekommes uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov. FN utviklet indikatorene eller bærekraftsmålene (SDG) for å skape balanse mellom sosial, økonomisk og miljømessig bærekraft.

Akvaponisystemer kan levere mat på alternative og mer bærekraftige måter enn tradisjonelle matsystemer og gjenvinne og gjenbruke ressurser som næringsstoffer og vann. **Naturressurser** stammer fra det naturlige miljøet, inkludert *biotiske* ressurser fra levende organismer og organisk materiale samt *abiotiske* ressurser fra ikke-levende og uorganisk materiale.

Forholdet mellom menneskeheten og naturmiljøet er ufullkomment og et eksempel på dette er **planetens**

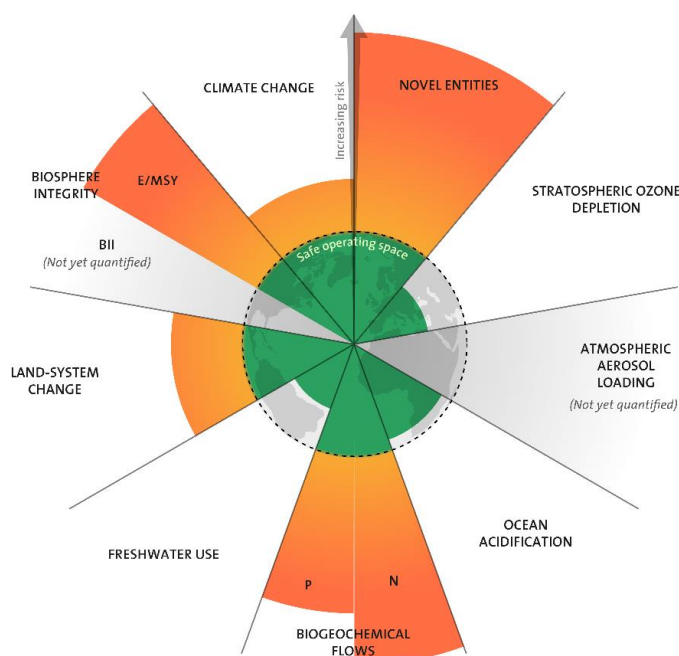
**tålegrens** eller indikatorer som menneskeheten må holde seg innenfor for at den skal være trygg. En **terskel** er mengden press eller endringer i nøkkelvariabler i et miljø der et økosystems **vippepunkt** for å gå over i en ugunstig tilstand blir uunngåelig.<sup>1</sup> Et **vippepunkt** er punktet der en rekke små endringer av nøkkelvariabler blir signifikante nok til å forårsake en større, mer signifikant endring.

Det finnes ulike indikatorer og metrikker som brukes til å måle bærekraft på tvers av sektorer og fagfelt. Ecological Footprint© (klimafotavtrykk), som er utviklet av Global Footprint Network, måler menneskers behov for naturressurser og tilgjengeligheten av slike ressurser. Det finnes også mange kvantitative metoder for å måle bærekraft i og miljøpåvirkning av matforsyningskjeder som livsløpsvurderinger (LCA).

## Diskusjonstemaer:

- Hvilke konsekvenser har endringer i klima og arealbruk for biologisk mangfold, og hvilken rolle kan akvaponi spille i gjennomføring av tiltak for mer bærekraftig forvaltning?
- Hvordan har akvaponi potensial til å fremskynde et sosialt eller samfunnsmessig vippepunkt for hvordan mennesker ser på bærekraft i matsystemer?
- Hvordan kan prosessene i et akvaponisystem sammenlignes med et naturlig økosystem?
- Hva er fordelene og ulempene med akvaponi?

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Bærekraft	Sustainability
Naturressurser	Natural resources
Planetens tålegrens	Planetary boundaries
Terskel	Threshold
Vippepunkt	Tipping point



[Planetens tålegrens \(utarbeidet av Azote for Stockholm Resilience Centre, på bakgrunn av analysen i Persson et al 2022 og Steffen et al 2015\).](#)

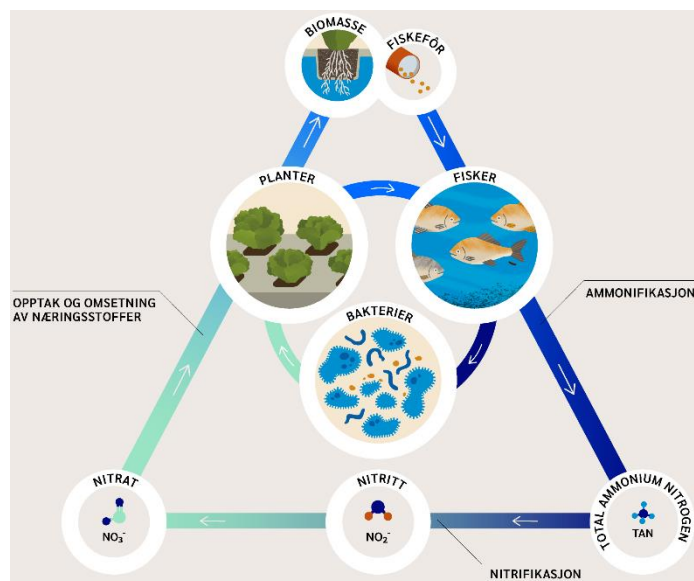
<sup>1</sup> Hillebrand et al., 2023

# Plantevekst, -helse og -utvikling

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Landbruk og gartnernæring, Kjemi, Biologi

Planteproduksjon, eller *hydroponi*, er en viktig del av akvaponi. **Metabolisme** er en rekke kjemiske reaksjoner som omdanner energi i cellene til levende organismer. En celle er den grunnleggende membranbundne enheten som danner byggesteinene til alle levende organismer. Planter tar opp lys, vann og karbondioksid for å produsere oksygen og energi i en metabolsk kjemisk prosess som kalles **fotosyntese**. **Makronæringsstoffer** er kjemiske stoffer som trengs i store mengder for å gi energi til å opprettholde vitale funksjoner for levende organismer. De viktigste næringsstoffene for plantevekst, -helse og -utvikling inkluderer følgende: karbon, hydrogen og oksygen, nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, svovel, magnesium.<sup>1</sup> **Mikronæringsstoffer** eller kjemiske stoffer som levende organismer trenger mindre mengder av for normal vekst og utvikling inkluderer: jern, klor, mangan, bor, sink, kobber og nikkel.<sup>2</sup>

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Metabolisme	Metabolism
Fotosyntese	Photosynthesis
Makronæringsstoffer	Macronutrients
Mikronæringsstoffer	Micronutrients
Nitrifikasjon	Nitrification



*Nitrogensyklusen i akvaponi (tilpasset fra Goddek et al., 2015; Junge et al., 2020).*

Hvilke næringsstoffer som er tilgjengelige for plantene, kommer an på pH-verdien eller surhetsgraden i vannet. Løsninger med pH under 7 er sure. Løsninger med pH på 7 er nøytrale, mens løsninger med pH over 7 er alkaliske eller basiske. Den viktigste mekanismen for at planter skal få næring, er absorpsjon gjennom plantens røtter.

## Diskusjonstemaer:

- Hvilke faktorer har innvirkning på størrelsen på planter i et akvaponisystem?
- Hva er begrensningene og restriksjonene for plantevekst og -helse i akvaponisystemer?
- Hvilke forbindelser er det mellom celledstruktur og -funksjon? Hvordan danner cellemembran grunnlaget for kommunikasjon mellom celler?
- Hvilken innvirkning har fiskefôr på planteproduksjonen?
- Hva er likhetene og ulikhetene mellom nitrogensyklusen i miljøet og et akvaponisystem?

<sup>1</sup> Junge et al., 2020; Maucieri et al., 2019

<sup>2</sup> Maucieri et al., 2019

# Dyrevelferd

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Landbruk og gartneri, Kjemi, Biologi

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Dyretetthet	Stocking density
Biomasse	Biomass
Stress	Stress

Produksjon av akvatiske organismer, eller *akvakultur*, er en viktig del av akvaponi. Fisk er en variert gruppe kaldblodige virveldyr. Det betyr at fiskens kroppstemperatur varierer med temperaturen i vannet. Mange arter, men ikke alle, har svømmeblære som opprettholder oppdrift i vannet og gjeller som gjør at de kan ta opp oksygen og skille ut karbondioksid og metabolske avfallsstoffer.<sup>1</sup>

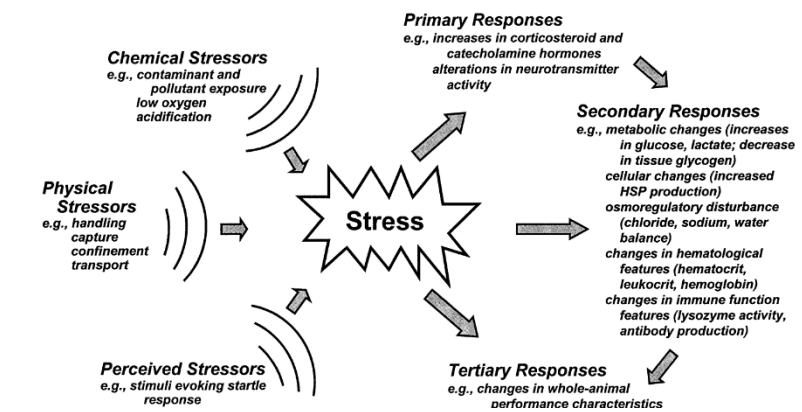
Den viktigste indikatoren på fiskevelferd er fiskens atferd før, under og etter føring da den utviser følgende atferdsmønstre: utstrakte finner og rett hale, svømmer i vanlig mønster, god appetitt, ingen merker, misfargede flekker, streker eller linjer, ingen gnidning eller skraping langs sidene på tanken, puster ikke inn luft fra overflaten og klare og skinnende øyne.<sup>1</sup> Ett av flere mulige risikofaktorer for akvatiske dyrs helse i akvaponianlegg er **dyretetthet** eller antall individer på et visst område. Det må også være god balanse mellom **biomasse** eller total mengde eller vekt av organismer i et gitt område eller volum av fiskene, størrelse på biofilter i *resirkulerende akvakultur systemer* (RAS eller systemer som behandle og gjenbruke vann til fiskeproduksjon) og total plantemengde.

I Europa er det ingen bestemte minstekrav for leveforhold for fisk på grunn av mangel på kunnskap om fiskevelferd, selv om [rådsdirektiv 98/58/EF](#) gjelder for alle dyr som holdes for

landbruksformål, og inneholder minstekrav om tilfredsstillende dyrevelferd for virveldyr.<sup>2</sup> Det er likevel generell enighet i Europa om at fisk utsettes for **stress** eller trykk, belastning eller spenning hvis oksygenivået i vannet er for lavt, og når de tas ut av vannet, og om at immunsystemet til fisk påvirkes når den utsettes for kronisk stress, noe som igjen gjør at den blir mer utsatt for sykdommer.<sup>1</sup> I 2016 ble dyrehelseforordningen ([EU](#) 2016/429) vedtatt for forebygging og bekjempelse av smittsom sykdom som kan overføres til andre dyr eller mennesker. Forordningen trådte i kraft i 2021, og Norge reviderte sin lov om dyrehelse og innførte nye forskrifter om dyrehelse i 2022.<sup>3</sup>

## Diskusjonstemaer:

- Hvordan kan det være alminnelig enighet i Europa om at fisk opplever stress og generell mangel på kunnskap om fiskevelferd?
- I Europa er det for tiden ingen bestemte minstekrav for fiskevelferd. Bør slike krav innføres?
- Nevne noen eksempler på potensielle stressfaktorer for fisk i et akvaponisystem.



*Fysiske, kjemiske og andre oppfattede stressfaktorer påvirker fisk og fremkaller fysiologiske og lignende effekter (Barton, 2002).*

<sup>1</sup> Somerville et al., 2014

<sup>2</sup> Junge et al., 2020

<sup>3</sup> Mattilsynet, 2022

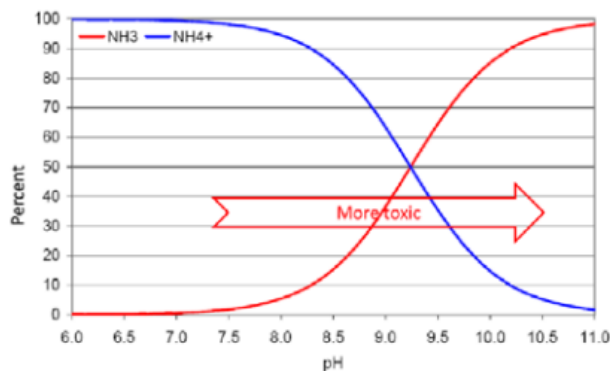
# Vannkjemi og -kvalitet

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Kjemi, Biologi

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Vannets kretsløp	Water cycle
Totalt ammoniakknitrogen (TAN)	Total Ammonium Nitrogen (TAN)

**Vannets kretsløp**, også kjent som den hydrologiske syklusen, beskriver den kontinuerlige bevegelse av vannet på jorden mellom havene, atmosfæren og jordens overflate i ulike former: væske, fast form og damp. I akvaponi er vannbevegelse nødvendig for å holde planter og fisk i live i systemet, og nytt vann må tilføres for å erstatte vann som har fordampet og blitt absorbert av plantene. *Resirkulerende akvakultur systemer (RAS)* resirkulerer vann kontinuerlig gjennom et filter som fjerner faste stoffer, og passerer gjennom et biofilter som omdanner ammoniumforbindelser til nitritt ( $\text{NO}_2^-$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Vannet pumpes deretter til hydroponisystemet der det blir brukt av plantene og etter rensing går vannet tilbake til fisketanken(e).

Kilden og kvaliteten på vannet som tilføres akvaponisystemer er en viktig faktor for fiskevelferd (for eksempel regnvann, springvann, overflatevann eller grunnvann). Til vanddistribusjon bør en bruke syntetiske materialer som PVC og PE i rør og ventiler i stedet for materialer som inneholder nikkel eller kobber som kan være skadelige for fisk.<sup>1</sup> De fem viktigste vannkvalitetsparametrene som har innvirkning



på fisk, planter og bakterier, er: oppløst oksygen, pH, temperatur, totalt nitrogen og vannalkalitet.<sup>2</sup>

pH i vannet påvirker plantenes evne til å ta opp *makro-* og *mikronæringsstoffer* (kjemiske stoffer som trengs i store og mindre mengder for å gi energi til å opprettholde vitale funksjoner og normal vekst og utvikling for levende organismer).

*Forhold mellom ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i vann, avhengig av pH (Fjellheim et al., 2017).*

Nitrogen tilføres først i et akvaponisystem gjennom fiskefôret og kommer deretter inn i

systemet via fiskeekskrementer i form av **totalt ammoniakknitrogen (TAN)** som er summen av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). TAN tas enten direkte opp av plantene eller omdannes til nitritt ( $\text{NO}_2^-$ ) og deretter nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) før det tas opp av plantene. Høyere pH og vanntemperatur gjør ammoniakk giftigere. Den relative konsentrasjonen av ammoniakk og ammonium avhenger hovedsakelig av pH-verdien som betyr at pH-en generelt sett avgjør om en TAN-konsentrasjon er giftig eller ikke.<sup>3</sup>

## Diskusjonstemaer:

- Hva er likhetene og forskjellene mellom vannets syklus i miljøet og et akvaponisystem?
- Hva slags materialer kan brukes til å bygge et akvaponisystem?
- Hva er de mest relevante vannkvalitetsparametrene for å overvåke og opprettholde balansen i et akvaponisystem?
- Hvordan påvirker en økning/reduksjon av pH-verdien de viktigste vannkvalitetsparametrene over tid?

<sup>1</sup> Maucieri et al., 2019

<sup>2</sup> Somerville et al., 2014

<sup>3</sup> Fjellheim et al., 2017



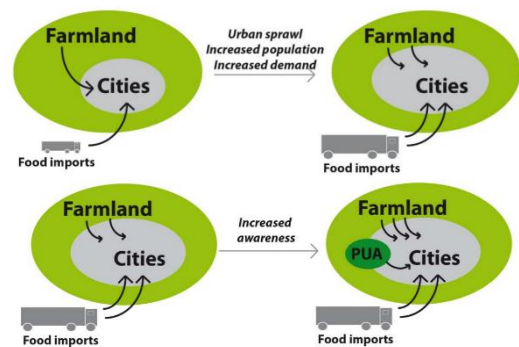
## Urban dyrking

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Kjemi, Biologi

Matsystemer omfatter aktører og aktiviteter involvert i produksjon, oppbevaring, aggregering, håndtering etter høsting, transport, behandling, distribusjon, markedsføring, avhending og forbruk av mat fra som kommer fra landbruk og mat som ikke kommer fra landbruk.<sup>1</sup> **Matsikkerhet** er når alle i en husholdning til enhver tid har tilgang til nok mat, trygg mat og næringsrik mat for et fullgodt kosthold som møter deres ernæringsmessige behov og matpreferanser som grunnlag for et aktivt liv med god helse.<sup>2</sup> Siden 2014 har det vært en økning i moderat og alvorlig **matusikkerhet** eller når en person ikke har regelmessig tilgang til tilstrekkelig trygg og næringsrik mat for normal vekst og utvikling og til et aktivt og sunt livsiden. Matusikkerheten ble forsterket av covid-19-pandemien, og nå lider mer enn 800 millioner mennesker av sult, og 2,4 milliarder mennesker har svært begrenset tilgang til tilstrekkelig mat.<sup>3</sup>

Akvaponisk dyrking produserer mat på en mer bærekraftig måte, uten tilsetning av næringsstoffer eller syntetisk gjødsel, bruk av pesticider og minimal bruk av kjemiske tilsetningsmidler og antibiotika. Ettersom vannet i systemet brukes om igjen, reduseres også vannforbruket. De viktigste innsatsfaktorene som bidrar til miljøpåvirkning i akvaponisystemer, er identifisert som systeminfrastruktur og fiskefôr, og i kalde klimaer energi som brukes til oppvarming av systemet, men hvert akvaponisystem har egen unik innvirkning på miljøet.<sup>4</sup> Det er svært energikrevende å sikre gode vekstforhold for planter og fisk i akvaponisystemer. Miljøpåvirkningen må derfor vurderes dersom systemet skal brukes til å forsyne urbane befolkninger med lokaldyrket mat, noe som kan være et mer bærekraftig og ressurseffektivt alternativ.<sup>5</sup>

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Matsikkerhet	Food security
Matusikkerhet	Food insecurity
Urbanisering	Urbanization
Urbant landbruk	Urban farming
Periurbant landbruk	Peri-urban farming



*Implikasjoner for mat ved urban ekspansjon og revitalisering av lokale landbruksvarer. PUA står for periurban og urban (Sanyé Mengual, 2015).*

Verdens befolkningen i byer skal øke i fremtiden, noe som betyr at befolkningen flytter fra rurale til urbane områder, det som kalles **urbanisering**. Det betyr at flere mennesker vil bli særlig sårbare for matusikkerhet da de er nesten helt avhengige av landbruksvarer som er importert fra andre regioner, langt borte fra der de bor.<sup>6</sup> **Urbant landbruk** eller dyrking kan forstås som landbruksrelaterte aktiviteter i og rundt en bys grenser med **periurbant landbruk** i utkanten av en by og urbant landbruk inne i byen.

Diskusjonstemaer:

- Hvilke utfordringer er knyttet til matsikkerhet?
- Hvilke fordeler har bruk av akvaponisystemer i urbane områder?
- Hvordan kan Norges forbruk og produksjon av akvatiske produkter sammenlignes med forbruk og produksjon i resten av verden?

<sup>1</sup> FAO, 2021

<sup>2</sup> Babu et al., 2014

<sup>3</sup> FAO, 2022

<sup>4</sup> Greenfeld et al., 2022

<sup>5</sup> Junge et al., 2020

<sup>6</sup> Milliken & Stander, 2019

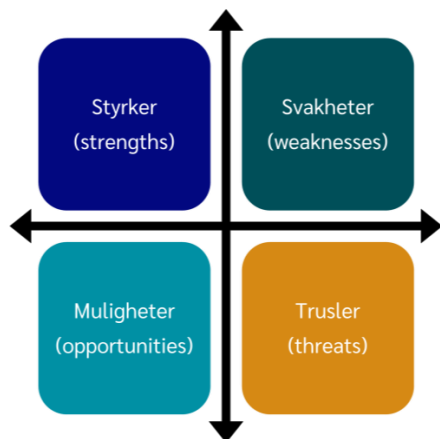
# Økonomi- og forretningsdrift

Relevant fag: Naturbruk, Naturfag, Engelsk, Matematikk P, Landbruk og gartnerier, Kjemi, Biologi

Nøkkelbegrep på norsk og engelsk	
Verdikjede	Value chain
Sirkulær økonomi	Circular economy
Bioøkonomi	Bioeconomy
Grønn økonomi	Green economy
Gründer	Entrepreneur
Budsjett	Budget

En **verdikjede** beskriver alle aktiviteter et produkt eller en tjeneste går igjennom, helt fra utvikling av et konsept, gjennom ulike produksjonsfaser til levering til sluttbruker og slutttdisponering av avfall.<sup>1</sup> Det er varierende eksisterende økonomibegrepene tilnærminger for å oppmuntre, tilpasse seg eller transformere dagens økonomi mot de tre pilarene i bærekraft: samfunn, økonomi og miljø.

- **Sirkulær økonomi** – Et økonomisk system som retter seg mot null avfall og forurensning gjennom hele materialets livssyklus, fra miljøutvinning til industriell transformasjon, og til sluttbrukere, som gjelder for alle involverte økosystemer, der materialer går tilbake til prosesser eller miljøet
- **Bioøkonomi** – Bærekraftig og innovativ bruk av biomasse og biologisk kunnskap til produksjon av mat, dyrefôr, industriprodukter, bioenergi, økologiske og andre tjenester
- **Grønn økonomi** – Paraplybegrep styrt av miljøprinsipper som omfatter ulike implikasjoner med hensyn til vekst og trivsel eller effektivitet og risikoreduksjon i bruken av naturressurser



*Skildring av en SWOT-analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).*

En **gründer** kan være en person som etablerer en bedrift med sikte på å skape bærekraftig verdi for seg selv og samfunnet i tillegg til å tjene penger. Gründere identifiserer problemer og oppdager løsninger som skaper verdi, samtidig som de overholder regelverket som omgir forretningsaktiviteter. Et verktøy gründere kan bruke til å evaluere interne evner og posisjonere sin virksomhet på markedet er SWOT-analysen (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). For å forstå de eksterne faktorene som kan påvirke en bedrift, kan en PESTLE-analyse brukes til å undersøke de politiske, økonomiske, sosiale, teknologiske, juridiske og miljømessige faktorene. Men sentralt for å etablere en vellykket virksomhet er å etablere en levedyktig og bærekraftig forretningsmodell. En forretningsmodell beskriver hvordan du skaper, leverer og fanger verdi tilbake fra kundene dine.<sup>1</sup> Å sette opp et **budsjett**

eller estimat av inntekter og kostnader for en bestemt tidsperiode også er viktig for å starte en bedrift og estimere kostnadene som trengs for å etablere, bygge og installere, samt drifte, føre tilsyn og vedlikeholde et akvaponisystem.

## Diskusjonstemaer:

- Hvordan kan en voksende bioøkonomi bidra til å løse globale utfordringer knyttet til energi og matproduksjon?
- Hvilke prosesser og inngangsfaktorer bør vurderes når en skal beregne de totale kostnadene ved et akvaponisystem?
- Hva er ulike fornybare energiløsninger passende for akvaponi?
- Anta rollene til ulike interessenter i akvaponisk industri for å forstå markedsutfordringer.

<sup>1</sup> Osterwalder & Pigneur, 2010





### **Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø**

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.